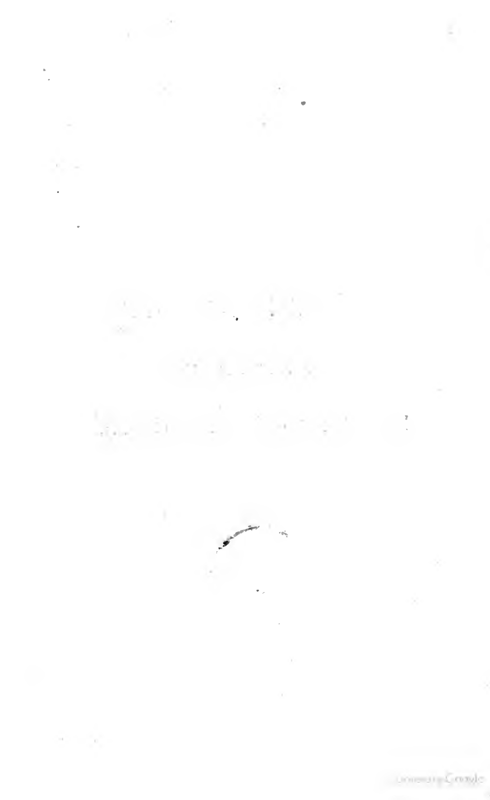
THÉORIE PRATIQUE

SUR LES TIROIRS

DES MACHINES A VAPEUR.



THÉORIE PRATIQUE

SUR LES TIROIRS

DES MACHINES A VAPEUR,

Donnant les moyens de déterminer, d'après les orifices, les principales dimensions des tiroirs, savoir : tiroirs sans détente, à détente fixe mus par un excentrique circulaire et à détente fixe et variable, mis en mouvement par un excentrique formé de courbes circulaires et paraboliques; la position de la manivelle par rapport à celle de l'excentrique, pour marcher en avant et en arrière, ainsi que les dimensions et la position des heurtoirs; le diamètre des conduites, la hauteur et la largeur des orifices d'un cylindre; donnant aussi la méthode pour tracer cet excentrique formé de courbes différentes; le rapport variable qu'ont les chemins parcourus par le tiroir et le piston à partir chacun d'un point immobile, etc.

Cet ouvrage renferme cinq planches contenant 49 figures qui concernent la machine à vapeur.

PAR T. PLAISANT,

Chef de l'Atelier d'Ajustage de l'École Royale d'Arts et Métiers d'Angers, membre de la Société industrielle de cette ville.



ANGERS,

IMPRIMERIE ET LITHOGRAPHIE DE LAUNAY-GAGNOT,

Rue Saint-Laud, 109

1843.

AVERTISSEMENT.

Dans cet exposé il est souvent question des mouvements circulaires et rectilignes, des manivelles du tiroir et du piston. Ces mouvements n'ayant pas été, jusqu'à ce jour, étudiés d'une manière satisfaisante pour faire comprendre les rapports qu'ont les premiers organes avec ces derniers, nous avons pensé que nous rendrions service aux élèves des Écoles royales d'arts et métiers, en essayant de donner une méthode qui doit, ce nous semble, tirer le mécanicien d'embarras, quelle que soit la question posée sur la distribution de la vapeur.

Mais il est de la plus haute importance, pour comprendre ce simple traité sur les tiroirs, de bien se pénétrer de ces sortes de mouvements, qui s'effectuent tous en même temps, afin de se rendre raison de la position des manivelles du tiroir et du piston, lorsque ceux-ci occupent une position quelconque.

La facilité avec laquelle nous saisissons ces mouvements et ces positions, ne peut s'acquérir que par un travail continu et par une attention très-minutieuse. C'est de cette manière qu'il faut les étudier.

Avant tout, nous devons savoir qu'une manivelle est toujours fixée par une de ses extrémités, sur un arbre qui roule sur ses collets, et que l'autre extrémité porte un fort boulon qui décrit, en tournant autour de cet arbre, des circonférences dont chacun des diamètres représente le chemin rectiligne parcouru par le piston dans

une course complète ; celui-ci est fixé à deux bielles et par suite il est lié avec le boulou précité. Le même raisonnement est applicable au tiroir.

Nous dirons aussi que les démonstrations et les calculs sont à la portée de toutes les intelligences, et que sans une instruction conforme à celle de nos élèves, il n'est guère possible de se rendre compte des résultats que nous obtenons dans cet ouvrage.

Si ce faible travail sur les tiroirs peut aider au mécanicien à bien disposer les principales pièces de la machine à vapeur, nous le continuerons en traitant les autres parties de ce moteur, sans déroger à la méthode que nous avons suivie pour en déterminer tous les secrets.

Si nous atteignons le but que nous nous sommes proposé, nous nous estimerons heureux d'avoir pu être utile à la classe laborieuse qui construit les machines, et d'avoir propagé le fruit de notre expérience, d'une expérience pratique de 19 années.

Chaque exemplaire doit porter la signature de l'auteur.

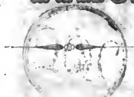
Plaisant

ERRATA.

Pages	Lignes.	
9	5	Supprimez le 6 qui indique le paragraphe.
16	26	*lisez :* figure 1 et 2.
32	15	*lisez :* $de = co = cf = gn$.
34	15	*lisez :* vapeur.
42	27	*lisez :* où.
45	10	*lisez :* *stucdefgnopkls*.
45	17	*lisez :* de la détente.
47	1	*lisez :* *gfedcba*.
47	14	*lisez :* *agrsdefgnhijklma*.
47	17	*lisez :* *s'vxyh*.
49	12	*lisez :* argots.
52	16	*lisez :* encoche.
53	14	*lisez :* munis.
58	6	*lisez :* mètre.
59	16	*lisez :* repartir.
66	19	*lisez :* décrits.
67	1	*lisez :* orifice.
71	9	*lisez :* des deux.
71	17	*lisez :* (fig. 36).
71	23	*lisez :* se terminer.
71	27	*lisez :* (fig. 37).
72	23	*lisez :* par les mêmes raisons.
99	6	*lisez :* à haute ou à basse pression.
104	5	*lisez :* de 1,25 atmosphère ?
107	19	*lisez :* le nombre des tours que fait dans une minute l'arbre.
110	25	*lisez :* il convient.

Pages.	Lignes.	
114	17	*lisez :* 0m,06293 au lieu de 0m,6293.
114	19	*lisez :* la surface de leur section.
126	13	*lisez :* les orifices, qui peuvent.
129	7	*lisez :* ne pouvant.
129	19	*lisez :* dont la différence.
130	14	*lisez :* nous trouvons.
130	22	*lisez :* au tiroir, à la bande.
143	4	*lisez :* $\sin.^2 e$.
147	24	*lisez :* une règle *cb* (fig. 49) bien.
149	3	*lisez :* $\sin.^2 45°$ au lieu de $\sin._2 45°$.
150	14	*lisez :* effectue.
152	12	*lisez :* $2 \times 0^m{,}06 \times$ au lieu de $2 \times 06 \times$
154	14	*lisez*, au premier terme du dénominateur : $\left(\frac{250°32'}{2}\right)$ au lieu de $\left(\frac{25°32'}{2}\right)$.
158	28	*lisez :* effectue.
160	10	*lisez*, au numérateur du second membre de l'équation : $80 \times R^2$ au lieu de $80 + R^2$.

LES TIROIRS.



1. Les Tiroirs étant la partie la plus essentielle des machines à vapeur, il est très-important de savoir les construire et de connaître les conditions qu'ils doivent remplir, afin que les machines n'éprouvent pas de perte dans la force motrice, quoique nous fassions varier les tiroirs dans leur forme et dans la manière de distribuer la vapeur. Comme ceux-ci sont mus par des excentriques, nous donnerons aussi la construction de ces derniers, mais seulement de ceux que nous devons toujours employer, pour éviter les chocs; ainsi que la méthode pour obtenir les dimensions des orifices, qui ont des relations intimes avec les tiroirs.

Ce que nous dirons sur les tiroirs et sur le mouvement des excentriques ou des manivelles, s'appliquera à la fig. 1re, qui est une machine à balancier, portant l'arbre de couche en bas; cependant, quand nous concevrons bien celle-là, il nous sera facile de comprendre les autres; car les machines à vapeur, dans lesquelles les pistons ont un mouvement rectiligne, sont toutes pareilles à très-peu de chose près.

2. En effet, les distinctions que nous y faisons, sont : 1° les machines à basse pression, par conséquent avec condensation; celles à haute pression avec détente et avec condensation; celles à haute pression simplement, et enfin celles à haute pression avec détente;

2° nous avons pour la position de l'arbre de couche : celles qui ont l'arbre de couche en bas, et le balancier en haut (fig. 1re), et réciproquement (fig. 2); celles qui portent l'arbre en bas sans balancier (fig. 3), et réciproquement (fig. 4); et enfin celles qui portent l'arbre de couche dans un plan à peu près horizontal passant par l'axe du cylindre (fig. 5).

Dans le premier cas, c'est à la vapeur que nous faisons subir les modifications, ce qui ne change rien à la machine; dans le second cas, c'est la position de l'arbre de couche que nous faisons varier. Ces changements ne modifient en rien le mouvement de la manivelle ni la construction du tiroir; puisque le boulon de celle-là doit toujours décrire une circonférence de cercle, et que ce dernier doit toujours distribuer de la vapeur au cylindre moteur; il n'y a donc rien de changé.

3. Dans une machine à vapeur, le tiroir est la partie qui limite l'entrée et la sortie de la vapeur du cylindre moteur. Pour fixer les idées sur une bonne construction, nous ne parlerons que de deux sortes de tiroirs, ceux que nous devons toujours employer, soit dans un cas soit dans l'autre.

Le premier tiroir *AB* (fig. 6), est à garniture, et est formé par deux parties *abcd*, *efgh* égales, creuses et demi-cylindriques; chacune d'elles est placée aux extrémités d'une troisième *dcfe* semblable, mais moindre de diamètre; de telle sorte que ces trois demi-cylindres soient à peu près concentriques. Les faces *nopq*, *rstv*, planes et bien rôdées, s'appliquent sur celles du cylindre, que nous appelons plaque de friction.

La vapeur arrive dans la boîte *xyz*, qui tient le tiroir renfermé, par le tuyau *mn* prolongé qui aboutit à la chaudière, laquelle vapeur se loge extérieurement autour du tiroir entre les deux garnitures *CD*, *EF*; de sorte que nous formons, avec cette partie du tiroir et avec celle de la boîte, un réservoir *dcef* de vapeur. Les garnitures précédentes étant en tresse de chanvre et bien faites, et appuyant contre les plaques de friction du cylindre, empêchent que la vapeur s'échappe de *p* vers *o* et de *r* vers *s*.

Ainsi l'intérieur du tiroir, qui est le tuyau d'évacuation de la vapeur, n'est point en communication directe avec la vapeur qui n'a pas travaillé, mais avec le condenseur. Cela dit, nous concevrons facilement que l'orifice du cylindre (celui du haut ou du bas), sera en communication avec la chaudière ou avec le condenseur, selon que ce tiroir aura monté ou descendu; car, nous voyons, dans la position de la figure 6, que les bandes *kijl*, *k'i'j'l'* de recouvrement bouchent complètement les orifices; et qu'alors en donnant au tiroir, en temps convenable, un mouvement rectiligne alternatif, la vapeur sera distribuée à la machine, laquelle se mettra en mouvement et persévérera dans cet état, tant que la vapeur arrivera de la chaudière, et que le tiroir fonctionnera.

4. Le second tiroir *CD* (fig. 7), sans garnitures, est formé d'un plateau *efgh* bien dressé et rôdé comme le précédent; il porte dans son milieu un trou *abcd* de forme carrée ou rectangulaire, recouvert par derrière d'une boîte *ut*, de manière que, quand la vapeur arrive dans

la boîte *kl* qui tient le tiroir renfermé, elle le presse sur tout son contour *nutm*, contre la plaque de friction du cylindre. Cette pression s'obtient au moyen de la surface *abcd* multipliée par la différence des pressions en atmosphères, entre celle du condenseur et celle de la chaudière; parce que la pompe à air, tout en faisant le vide dans le condenseur, le fait aussi dans la partie *opqr* qui communique constamment avec ce dernier.

Cela dit, faisons fonctionner le tiroir comme précédemment, il est clair que l'orifice du cylindre (celui du haut ou du bas) communiquera à la chaudière ou au condenseur, selon que les bandes de recouvrement *ezxf*, *bkhg* seront montées ou descendues. Nous remarquons que pendant que ce tiroir monte, l'autre descend pour transmettre la vapeur sur le même côté du piston.

5. Les tiroirs doivent être construits et placés de telle sorte que l'orifice, ouvert au condenseur, reste dans cet état le plus longtemps possible, pendant la demi-révolution de la manivelle; car, si l'orifice se trouvait fermé un peu trop avant que celle-ci fut aux points morts (*), nous concevons facilement que la vapeur restée dans le cylindre, et ayant une tension au moins égale à celle du condenseur, pourrait acquérir

(*) Nous entendons par points morts dans le mouvement d'une manivelle autour d'un axe, les deux positions où le bras de levier de cette manivelle est nul; ainsi, dans les machines à cylindres verticaux, ils se trouvent dans la verticale, et pour les machines à cylindres horizontaux, dans l'horizontale. En général, ils sont toujours dans le prolongement de l'axe de la tige des pistons ou suivant une parallèle à cet axe.

une force 2, 3, 4, 5 etc. fois plus grande, puisque la pression de cette vapeur augmenterait dans le même rapport que son volume diminuerait, ce qui détruirait une partie de la force motrice.

6. D'un autre côté, nous remarquons que la vapeur qui afflue de la chaudière, doit agir le plus promptement possible sur la surface du piston, quand il commence sa course. En effet, faisons agir la vapeur sur le piston, après avoir laissé parcourir à sa manivelle *cb* (*) un certain arc de cercle *ab* (fig. 8); la projection *eb* de celle-ci, augmentant comme le sinus de l'angle mesuré par cet arc, forme avec les droites *ca* et *cb*, la première passant par le point mort et la seconde par le milieu de la manivelle, un triangle rectangle *ceb*, duquel nous tirons la proportion :

$$\sin. c : \sin. e :: eb : cb;$$

d'ou $eb = \sin. c \times cb$; puisque $\sin. e = 1$, en prenant le rayon des tables égal à 1. En multipliant les deux membres par la pression P effective sur le piston, nous avons :

$$eb \times P = \sin. c \times cb \times P,$$

pour le moment de la force motrice sur l'arbre de couche *c* de la machine. Remarquons dans cette équation que sin. *c* est un des facteurs du moment, et plus ce facteur deviendra grand, plus le moment sera grand; par conséquent plus seront sensibles les variations du mouvement. Ce dernier n'étant plus uniforme, la ma-

(*) La manivelle du piston est le levier qui reçoit tout le travail appliqué sur ce dernier, au moyen d'un balancier et d'une bielle, et souvent d'une bielle seulement.

chine marcherait tantôt vite, tantôt doucement, ce qui occasionnerait des chocs.

6. D'après la disposition du tiroir, quand il est bien construit, nous voyons qu'il doit précéder un peu la manivelle, c'est-à-dire que le piston étant au haut ou au bas de sa course, l'orifice qui doit donner passage à la vapeur pour arriver sur le piston, doit s'ouvrir au même instant que ce dernier commence une autre course, et de plus que l'autre orifice qui doit introduire la vapeur au condenseur, doit être déjà ouvert. Cela seul oblige les mécaniciens à faire parcourir au tiroir, en partant de sa demi-course (quand les orifices sont fermés), un certain chemin, (que nous déterminerons), avant que le piston ait commencé sa course, afin que la vapeur arrive sur ce dernier au même instant qu'il commence son mouvement ascendant ou descendant.

Pour placer le tiroir de manière que ces conditions soient remplies, nous fixons l'excentrique sur l'arbre de couche, de telle sorte que ce tiroir se trouve en avant de toute la différence qu'il y a entre l'orifice *cd* et la bande *ud* de ce dernier (fig. 9); c'est-à-dire que, quand la manivelle est à un des points morts, le tiroir en partant de la position qui bouche les orifices, doit avoir monté ou descendu de cette différence. Si celle-ci était nulle, comme dans la distribution des machines à deux cylindres, la demi-course du tiroir correspondrait exactement aux points morts; cependant il vaut bien mieux le mettre en avance qu'en retard.

Dans ces dernières machines, nous ne pouvons pas

faire les bandes des tiroirs plus hautes que les orifices; parce que le petit cylindre fournit la vapeur au grand; et par cette raison seulement, il faut bien que, l'orifice du grand cylindre s'ouvrant pour recevoir la vapeur qui a fait son effet dans le petit, cette ouverture se fasse en même temps que celle de l'orifice de ce dernier, qui fournit la vapeur au premier. Alors, comme dans un tiroir ayant les bandes plus hautes que les orifices, l'ouverture au condenseur se fait avant celle qui a lieu pour le cylindre, il résulte que ce dernier tiroir ne convient pas aux machines à deux cylindres, mais bien à celles qui n'en ont qu'un dans lequel nous faisons détendre la vapeur comme dans les précédents.

7. Pour déterminer rigoureusement la position du tiroir, il est très-essentiel de bien se faire une idée des mouvements de la manivelle et de l'excentrique par rapport à ceux du piston et du tiroir.

Le tiroir dépendant uniquement de l'excentrique, nous allons chercher l'angle *bce* (fig. 8), que nous appellerons dans ce qui va suivre angle d'avance, ou seulement avance, que doit faire son plus grand rayon *cb* mené du centre de rotation, avec la droite *ca* verticale, qui passe par le milieu de la manivelle. C'est au moyen de la différence

$$cu = ud - cd, \text{ (fig. 9)}$$

qu'il y a entre la bande et l'orifice, que nous le déterminerons.

Pour cela, nous remarquons que la distance *ec* (fig. 10), entre les points *c*, *e* appartenant à l'excentrique, le premier étant le centre de rotation et le second celui

du cercle *bts*, nous donne la course parcourue par le tiroir, tant en allant qu'en venant ; car $2 \times ce$ est cette dernière. En effet, en réduisant le cercle *stb* en un autre cercle *s't'b'* plus petit, nous ne changeons rien au mouvement puisque la distance des centres *c*, *e* n'est pas modifiée ; mais alors nous avons une manivelle *ce* dont le chemin rectiligne que parcourt son boulon *e*, pendant qu'il décrit la demi-circonférence d'un cercle qui a pour rayon cette manivelle, est donné par le diamètre *io* de ce dernier; donc $2 \times ce$ est le chemin rectiligne parcouru par le point *e*, et par suite celui du tiroir dans une course. De sorte que, dans ce qui va suivre, quand nous parlerons de la manivelle *m* du tiroir, nous nous rappellerons que c'est de la distance *ce*.

8. De ce que la demi-circonférence se projette suivant son diamètre, il nous est facile de déterminer la partie de course parcourue par le tiroir ; celle-ci étant prise entre deux stations quelconques de la circonférence *nov* décrite par le point *e* ; pour cela nous projetons sur le diamètre *io* l'arc compris entre ces deux stations.

Nous remarquons dans cette figure que le diamètre *io*, qui donne la course du tiroir, est perpendiculaire à celui *ar* qui représente celle du piston ; conséquemment nous portons sur *io* à partir du point *c*, la différence $ud - cd = cu$ (fig. 9) ; puis nous projetons le point *u* (fig. 10) sur la circonférence *nivo* ; la rencontre *e* et le point *n* donneront l'arc *ne* d'avance, que doit

avoir décrit le point *e*, lorsque la manivelle du piston est en *ca* ou au point mort.

Maintenant, si du point *e* nous tirons *ek* parallèle à *cu*, ces deux droites seront égales ; nous aurons alors le triangle rectangle *cke*, dans lequel nous connaissons $ke = cu$, $ce =$ la demi-course du tiroir, ou la longueur de sa manivelle, et l'angle droit *cke* par construction. Ce triangle nous donne :

$$ce : ke :: \sin.\ cke : \sin.\ kce \text{; d'où}$$

$$\sin.\ kce = \frac{ke}{ce} = \frac{ud - cd}{ud} = 1 - \frac{cd}{ud}, (1),$$

ce qui détermine l'angle d'avance.

9. Pour qu'un tiroir remplisse bien les conditions précédentes, il faut que la longueur *ef* (fig. 9), prise de l'extérieur des bandes *ud*, *ab* du tiroir, soit égale à la distance *gh* prise de l'extérieur des orifices du cylindre. Le tiroir et les orifices doivent être invariables, une fois que l'angle d'avance *kce* est déterminé.

Nous réglons ce tiroir, après que l'excentrique est fixé sur l'arbre de couche, en plaçant rigoureusement la manivelle *m* dans la même position de celle du piston, quand elle est à un des points morts ; puis nous faisons monter ou descendre le tiroir jusqu'à ce que les deux orifices soient parfaitement fermés. Cette condition sera facile à remplir, en découvrant le cylindre ; alors par l'orifice de celui qui est au-dessus du piston, nous suivrons le tiroir jusqu'à ce que l'arête extérieure ou le point *d* de la bande *du* (fig. 9) arrive sur l'arête extérieure ou le point *h* de l'orifice *sh ;* cela fait, le tiroir sera réglé avec toute la précision possible. Quand

cette opération sera faite, nous remettrons la manivelle du piston au point mort; ensuite nous remarquerons par le même orifice, si le tiroir est prêt à faire jour à la vapeur, pour arriver sur le piston, ce qui nous donne un moyen de preuve.

10. La course d'un tiroir, construit comme le précédent, est toujours égale au double de l'une de ses bandes. En effet, les orifices d'un cylindre étant bien construits seront alternativement et totalement découverts pendant la révolution entière de la manivelle; alors il est facile de voir que les points u, b, appartenant au tiroir (fig. 9), parcourent chacun un chemin de direction contraire, et égal à ud, puisque $ud = ab$; par conséquent leur somme $ud + ab = 2 \times ab$ est le chemin total parcouru par un des points du tiroir.

11. Maintenant, voyons l'avantage de cette construction de tiroir, et examinons si elle peut nous donner de l'économie, sans perte sensible dans la puissance du moteur. Pour cela, nous chercherons le chemin que parcourt le piston, pendant que la chaudière fournit de la vapeur au cylindre, et celui qui est parcouru par le piston pendant que cette alimentation a cessé.

Ce dernier chemin est donné par la formule

$$M(1 - \cos.2 \times c),$$

dans laquelle M est la longueur de la manivelle du piston, et c l'angle $= kce$ d'avance que font entre elles les deux manivelles du piston et du tiroir. Cette formule se tire facilement de la fig. 11, en remarquant que la manivelle du piston étant placée suivant ac verticalement,

celle du tiroir se trouve suivant *ec* (nous supposons celle-ci prolongée jusqu'en *e*) formant l'angle *kce* invariable. D'après ce que nous avons dit (§. 6) sur cette position des deux manivelles, le tiroir est donc prêt à livrer passage par un orifice à la vapeur qui l'entoure, tandis que l'autre est déjà ouvert au condenseur, depuis que la manivelle du tiroir a quitté la position *ca*. Cela dit, faisons passer en rétrogradant, la manivelle du tiroir en *ca*, l'autre manivelle sera passée en *ca'*, et les angles *a'ca*, *ace* seront égaux; dans cette position les deux orifices seront fermés, puisque le tiroir est à sa demi-course. Ensuite, faisons encore passer cette manivelle (celle du tiroir) de *ca* en *ca'*, celle du piston sera arrivée en *ca''*, et les angles *a''ca'*, *a'ca* et *ace* seront égaux. Dans cette nouvelle position l'orifice qui était ouvert au condenseur, quand l'excentrique était en *ce*, est encore fermé, et celui qui devait s'ouvrir au cylindre s'est ouvert au condenseur. Dans cet état, si nous faisons tourner la manivelle du piston dans le sens convenable pour la marche, le cylindre qui renferme ce dernier cessera de recevoir la vapeur quand cette dernière est arrivée au point *a''*, puisque l'orifice vient de se fermer et que l'autre est ouvert au condenseur; il en résulte donc que la détente de la vapeur a lieu pendant que la manivelle *M* parcourt l'arc *a''a'*, ou que le piston parcourt *kh*. Nous remarquons encore que, les orifices étant fermés quand la manivelle du piston est en *a'*, cette dernière parcourt l'arc *a'a* par la vitesse acquise par ce dernier.

12. Actuellement déterminons cette formule; pour

y parvenir nous tirons les perpendiculaires $a''h$, $a'k$, sur la verticale ca ; et nous remarquons que, les trois angles au centre c étant égaux, nous avons deux triangles rectangles cha'', cka'. Du premier nous tirons :

$$\sin.\ a'' : \sin.\ h :: ch : ca'' \text{ ou } ca = M, \text{ d'où}$$
$$ch = \sin.\ a'' \times M ; \text{ et du second :}$$
$$\sin.\ a' : \sin.\ k :: ck : ca' \text{ ou } ca, \text{ d'où}$$
$$ck = \sin.\ a' \times M.$$

Retranchons la première équation de la seconde, nous avons :

$$ck - ch = kh = \sin.\ a' \times M - \sin\ a'' \times M = M(\sin. a' - \sin. a'') ;$$

ensuite remarquons dans la figure que sin. a'—sin. a'' = cos. kce—cos. 2 × kce, et que l'angle kce est l'angle d'avance ou c; donc en substituant dans la précédente cette dernière valeur, nous trouvons :

$$kh = M(\cos.\ c - \cos.\ 2 \times c),\ (1),$$

pour le chemin parcouru par le piston pendant la détente. Le chemin parcouru par le piston par l'effet de la vitesse acquise est :

$$ca - ck = ak = M - \sin.\ a' \times M = M(1 - \sin.\ a'),$$

ou bien, comme sin. a' = cos. c, il devient, en substituant : $ak = M(1 - \cos.\ c)$, (2), ce qui nous donne la valeur de hk et celle de ka, en fonction de l'angle d'avance.

13. Actuellement, nous faisons la somme des équations (2 et 3), et nous avons :

$$kh + ka = M(\cos.\ c - \cos.\ 2 \times c) + M(1 - \cos.\ c);$$

puis mettant en facteur commun, en remarquant que $kh + ka = ha$, nous obtenons :

$$ha = M(1 - \cos.\ c + \cos.\ c - \cos.\ 2 \times c),$$
$$\text{ou } ha = M(1 - \cos.\ 2 \times c),\ (1),$$

pour l'expression algébrique du chemin parcouru par le piston par l'effet de la détente et par celui de la vitesse acquise.

Si nous divisons les deux membres par la course entière du piston ou par $2 \times M$ son égal, nous avons la formule :

$$\frac{ha}{2 \times M} = \frac{M(1 - \cos. 2 \times c)}{2 \times M} = \frac{1 - \cos. 2 \times c}{2}, \ (2),$$

qui est le rapport du chemin parcouru par le piston, par l'effet de la détente et de la vitesse acquise, à celui qu'il parcourt pour effectuer la course entière.

Cela posé, représentons par 1 cette partie de course parcourue par le piston pendant la détente et la vitesse acquise, et par N le nombre de fois que cette partie de course est contenue dans la course entière $2 \times M$; la fraction vulgaire $\frac{1}{N}$ représente aussi le rapport de cette partie à la longueur de toute la course ; mais ce rapport est naturellement égal au précédent, puisqu'ils expriment les mêmes choses, nous avons donc :

$$\frac{1 - \cos. 2 \times c}{2} = \frac{1}{N};$$

d'où, en changeant les signes, nous tirons :

$$\cos. 2 \times c = 1 - \frac{2}{N} = \frac{N-2}{N}, \ (3).$$

Ainsi, lorsque nous connaîtrons numériquement la valeur de N, nous serons à même de déterminer l'angle d'avance ; car la formule (3) nous fera trouver le double de cet angle ; de sorte que la moitié de l'angle qui correspondra au cosinus $\frac{N-2}{N}$ sera l'angle c, dont

le sinus est le rapport de la différence des deux hauteurs de l'orifice et de la bande, à la hauteur de celle-ci. Donc, cette différence étant connue, nous obtiendrons la bande et réciproquement, en substituant ces valeurs dans l'équation 1, (§ 8).

14. Dans l'excellent ouvrage que M. Campagnac, ancien ingénieur de la marine, vient de publier sous le titre : *De l'état actuel de la navigation à la vapeur*, nous trouvons : 1° Que dans plusieurs appareils à deux machines conjuguées placées sur les bateaux de l'Etat, la détente s'y fait dans chacun à des degrés différents; les conditions et les dimensions principales, tant pour les machines que pour les bateaux sont parfaitement les mêmes. 2° Que dans ceux qui sont construits par MM. *Maudslay* et *Miller*, cette détente a lieu pendant les derniers $\frac{3}{10}(=\frac{1}{3,333})$ de la course entière du piston, et que dans les autres fabriqués par MM. *Fowcett*, *Muray*, *Jackson*, *Ed. Bury*, etc., cette même détente ne s'y opère que pendant le dernier $\frac{1}{10}$ de cette course. 3° Enfin, malgré cette différence très-sensible dans l'expension de la vapeur, que les résultats sont identiques ; c'est-à-dire que les machines des premiers constructeurs, font autant de travail que celles des seconds. Ici, c'est l'expérience qui parle sur des machines colossales, et d'après un savant ingénieur, M. Campagnac.

Nous concluons donc, d'après ces judicieux résultats, que toutes les machines à vapeur, sans exception pour aucune, peuvent fonctionner en commençant la

détente au dernier $\frac{3}{10}$, $\left(=\frac{1}{3,333}\right)$, de la course du piston, sans perte sensible dans la force motrice ; en concevant celle-ci comme si la vapeur était introduite dans le cylindre pendant la course entière du piston ; toutefois, si les bandes du tiroir et les orifices du cylindre sont convenablement construits.

Dans la fig. 9, les orifices sont faits pour être complètement découverts pendant que le tiroir fonctionne, c'est-à-dire qu'ils ont l'ouverture que le calcul leur donne d'après la vitesse de la vapeur à son arrivée dans le cylindre ; mais cela n'est pas toujours de même, il arrive souvent, et c'est dans les bonnes machines, que cette ouverture est moitié plus grande qu'elle ne devrait être, et cela a lieu sans modifier la course qu'avait le tiroir avant que cette augmentation d'ouverture n'existât. Alors, dans le mouvement du tiroir, l'orifice se découvre à la vapeur de la chaudière moins cette augmentation, tandis qu'il est découvert complètement pour le condenseur. Nous concevons que cela doit être avantageux, puisque la vapeur qui est entrée dans le cylindre par une certaine ouverture de l'orifice, s'en va au condenseur par cette même ouverture, mais considérablement augmentée.

Pour montrer comment notre théorie sur les tiroirs répond à toutes ces conditions, nous prendrons un exemple sur l'Eurotas, construit par M. *Maudslay*, exemple que nous trouvons dans l'ouvrage que nous venons de citer.

15. L'un des pistons a $1^m,372$ de course, et son tiroir en a $0^m,278$. Les deux orifices ont chacun $0^m,103$

de hauteur ; les hauteurs des bandes sont inégales, et la moyenne entre celles-ci est de $0^m,177$.

Il faut que nous déterminions l'angle d'avance qui nous est inconnu, la hauteur de l'orifice, celle de la bande, et la quantité que M. *Maudslay* a ajoutée aux orifices, pour leur donner plus d'ouverture au condenseur.

Nous agirons d'abord comme si l'orifice et la bande étaient construits d'après la fig. 9 ; de telle sorte que la course $0^m,278$ de l'excentrique étant connue, nous avons $\frac{0^m,278}{2}=0^m,138$ pour la hauteur de la bande (§. 10). Cela fait, substituons à N, dans la formule 3, (§. 13) sa valeur numérique 3,333, puisque dans ces machines $\frac{1}{N}=\frac{1}{3,333}$, et nous avons :

$$\cos.(2\times c)=\frac{3,333-2}{3,333}=0^m,3999.$$

L'angle qui correspond à ce cosinus est de 66° 26' environ ; la moitié, 33° 13', égale l'angle c d'avance ; et le sinus de celui-ci est de $0^m,5478$.

Ainsi, l'angle que font entre elles les deux manivelles du tiroir et du piston, de l'une des machines de ce bateau est de 33° 13' ; mais en admettant, comme nous l'avons supposé dans la fig. 10, que la direction de la bielle d'excentrique soit perpendiculaire à la manivelle M, quand elle est à l'un des points morts. Dans tout ce qui suit c'est ainsi que nous le concevons. Nous verrons plus loin (§. 81) comment nous déterminons le véritable angle que doivent faire les manivelles M et m. Substituons ces valeurs dans la formule 1 (§. 8) ; et nous avons : $0^m,5478=\frac{ke}{0^m,138}$, ke est la différence des deux hauteurs de la bande et de l'orifice ; d'où

$$ke=0^m,5878\times 0^m,138=0^m,07559.$$

De sorte que, en retranchant de la hauteur de la bande

ce produit, qui est la différence qu'il y a entre la bande et l'orifice, nous avons $0^m,138-0^m,075=0^m,063$ pour la hauteur de ce dernier dans le cas de la figure (9). Maintenant, retranchons cette hauteur ($0^m,063$) de celle ($0^m,103$) qui nous est donnée, et nous avons la quantité qui a été ajoutée à l'orifice, ou bien ajoutons à la bande et à celui-ci $0^m,040$ à chacun, nous trouvons : $0^m,178$ pour la hauteur de la bande et $0^m,103$ pour celle de l'orifice ; ce sont les dimensions que nous avons trouvées dans cet exemple. L'addition que nous venons de faire à ces deux quantités doit avoir lieu sans changer les longueurs *gh*, *ef*, de l'extérieur des orifices et de l'extérieur des bandes ; c'est-à-dire que ceux-là doivent augmenter dans le sens de *d* vers *u* pour celui du haut et de *a* vers *b* pour celui du bas, et pour celles-ci la même chose.

Nous voyons actuellement comment nous pourrons nous rendre compte des orifices et des bandes, si importantes dans les machines ; et qu'il nous sera très-facile de proportionner les tiroirs, suivant l'économie que nous nous proposerons d'obtenir.

Cela dit, substituons dans les formules (1), (2) et (1) (§. 12 et 13) la valeur du cosinus, et nous trouvons par la formule (1).

$kh=M(\cos.c-\cos.2\times c=0,686\,(0^m,8366-0^m,3999)=0^m,2996,$

pour le chemin parcouru par le piston pendant la détente, $M=\frac{1^m,372}{2}$ la demi-course du piston ou la longueur de la manivelle. Ensuite, nous avons par la formule (2) :

$ak=M\,(1-\cos.c)=0^m,686\,(1-0,8366)=0^m,112,$

pour le chemin parcouru par le piston par l'effet de la vitesse acquise ; enfin, par la formule (1) nous trouvons :

$$kh+ak=ha=M(1-\cos.2\times c)=0^{m},686(1-0^{m},3999)=0^{m}4116$$

pour le chemin parcouru par le piston pendant la détente et la vitesse acquise.

Il est clair que ce nombre doit être égal à la somme des deux chemins partiels que nous venons aussi de trouver ; en effet :

$$0^{m},2996+0^{m},1120=0^{m},4116.$$

Nous ne manquerons pas d'observer l'exactitude avec laquelle les nombres se reproduisent. Il en est de même du rapport du chemin que parcourt le piston, pendant la détente et la vitesse acquise, au chemin de la course entière ; car ce rapport est par expérience $\frac{1}{3,333}=0,30$, et d'après notre formule 2 (§. 13) nous avons :

$$\frac{ha}{2\times M}=\frac{1-\cos.2\times c}{2}=\frac{1-0^{m},3999}{2}=\frac{0^{m},60}{2}=0^{m},30.$$

La fraction numérique suivante, dont le numérateur a été trouvé par la formule 1 (§. 13), et le dénominateur étant la course entière du piston, nous donne :

$$\frac{0^{m},4116}{1^{m},372}=0^{m},2998.$$

16. L'appareil de l'Eurotas est de 160 chevaux ; chaque machine est donc de 80 chevaux vapeur. Les machines sont anglaises ; elles donnent, d'après le calcul adopté en France, une puissance bien plus grande. La détente donnera par pulsation une économie de

$\frac{1}{3,333}$ du volume de la course entière du piston; et cette économie est donc de :

$$\frac{1}{3,333} \times \pi \times R^2 \times 1^m,372 = \frac{3,1416 \times (0,61)^2 \times 1,372}{3,333} = \frac{1^{m.c.},604 \text{ litres}}{3,333} = 0,481$$ de mètre cube, ou 481 litres par pulsation, puisque $\pi \times R^2 \times 1^m,372$ est le volume de cette course, et R le rayon du piston. Or les machines donnant 23,333 coups de piston par minute, ou tours de roue, nous avons 46,666 pulsations; de sorte que, en multipliant 481 litres par ce nombre de pulsations, nous obtenons 22447 litres, ou 22,5 mètres cubes environ d'économie par minute. Mais cette vapeur, dans la chaudière, supportant une colonne de $0^m,95$ de mercure, et ayant une température de $106°,6$, sa densité est de $0^{k.},000723$ pour 1 litre; de sorte que le nombre de kilog. de vapeur économisée par minute est de $22447^{\text{litres}} \times 0^{k.},000723 = 16^{k.},25$; c'est-à-dire qu'il y a dans ce temps $16^{k.},25$ d'eau de moins à vaporiser, et par heure : $60' \times 16^{k.},25 = 974^{k.},9$, pour une machine seulement. Mais un kilog. de charbon de moyenne qualité vaporise 6 kilog. d'eau, et il coûte environ $0^{f.},035$, nous avons donc :

$0^{f.},035 \times \frac{974^{k.},9}{6} = 5^{fr.},687$; et pour les deux machines, nous trouvons $11^{fr.},374$ d'économie par heure. Si ce bateau à vapeur marchait pendant 10 jours ou 240 heures consécutives, il ferait, sur un autre bateau en concurrence, une économie de $11^{fr.},374 \times 240^{h.} = 2730$f.; toutefois, si ce dernier marchait pendant le même

temps, et que la vapeur serait introduite dans ses cylindres pendant toute la durée de la course du piston.

17. Prenons un exemple sur une machine fixe achetée par un particulier, de la force de 20 chevaux; cette machine est destinée à marcher pendant 300 jours ou 7200 heures par année; nous la supposons construite dans les meilleures conditions, comme le bateau l'Eurotas. Une machine de 20 chevaux fonctionnant à $1 \frac{1}{4}$ atmosphère avec condensation, aurait un piston de $0^m,60$ de diamètre, une course de $1^m,20$, et donnerait 25 coups de piston par minute. L'économie de vapeur dans une minute est donc de :

$$\frac{1}{3,333} \times 50 \times 1^m,2 \times 3,1416 \times (0,30)^2 = 5,090 \text{ mètres}$$

cubes ou 5090 litres; et comme la densité est la même que précédemment, ce nombre de litres nous donne $3^{k.},686$ d'eau de moins à vaporiser. Nous en avons donc par heure $60 \times 3^{k.},686 = 221^{k.},1$ kilog. Le poids du charbon non consommé pendant ce temps, est de $\frac{221,1}{6} = 36^{k.},86$, lesquels à raison de $0^{f.},035$ donnent $1^{f.},289$.

Mais la machine devant travailler 7200 heures, nous donne $7200 \times 1^{fr.},289 = 9287$ fr. d'économie pour une année. Il nous est permis maintenant de demander aux acquéreurs de machines à vapeur, si une pareille économie est une chose à laisser de côté; sans compter l'avantage d'avoir une plus petite chaudière et d'autres choses qui en découlent.

18. Ex. Dans une machine à vapeur de 6 chevaux de force, nous connaissons la longueur de la manivelle du piston (= $0^m,305$), la hauteur de l'orifice (= $0^m,03$); et la hauteur de la bande du tiroir (= $0^m,045$); l'orifice sera complètement découvert tant en allant qu'en venant; c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'augmentation dans leur hauteur. La hauteur $0^m,045$ de la bande étant doublée, nous donne $0^m,090$ pour la course du tiroir, dont la moitié $0^m,045$ est la longueur de sa manivelle. Cela dit, nous voulons connaître l'angle d'avance, ou l'angle formé par les deux manivelles, (du piston et du tiroir), et l'économie de vapeur, réduite en espèces, que nous pouvons faire dans une pareille machine, en supposant qu'elle ne travaille que 280 jours.

Actuellement déterminons la différence des deux hauteurs, (bande et orifice), et substituons-la dans la formule 1 (§. 8), nous avons $sin.\ c = \frac{0^m,015}{0^m,045} = 0^m,3333$, ce sinus correspond à un angle 19° 28' environ.

Doublons cet angle et cherchons-en le cosinus; puis substituons celui-ci dans la formule 2, (§. 13) nous avons:

$$\frac{ha}{2 \times M} = \frac{1 - cos.\ 2 \times c}{2} = \frac{1 - 0,7779}{2} = \frac{0,2221}{2} = \frac{1}{9},$$

pour le rapport du chemin parcouru par le piston, pendant que la détente et la vitesse acquise opèrent, à la course entière $2 \times M$. Ce rapport exprime aussi celui qui existe entre le volume de vapeur économisée au volume entier qui est engendré par le piston pendant cette course. Multiplions donc ce rapport par

ce dernier volume ($= \pi . R^2 \times 2 \times M$), nous avons : $\frac{1}{9} \times 3,1416 \times 2 \times 0^m,305\ (0,192)^2 = 0^{m.c.}.00785$ environ ou 7,85 litres d'économie par pulsation. Or, cette machine avec la course qu'elle a, doit donner 50 coups de piston ou 100 pulsations par minute, nous avons donc pendant ce temps $7^{l.},85 \times 100 = 785$ litres de vapeur qui ne sont pas employées.

Pour 24 heures, ou pour 1440 minutes, nous trouvons $785 \times 1440 = 1130400$ litres de vapeur à 106°,6, parce que la machine est à condensation et fonctionne à $1\frac{1}{4}$ atmosphère. La densité de cette vapeur étant de 0,000723 pour 1 litre, le poids de ce nombre de litres sera de $1130400 \times 0^{k.},000723 = 818^{k.},2$ de vapeur ou $818^{k.},2$ d'eau de moins à vaporiser. Mais, nous savons qu'un kilogramme de charbon vaporise 6 kilog. d'eau, de sorte que nous avons $\frac{818^{k.},2}{6} = 136^{k.},4$ de charbon d'économisés par 24 heures; et pour 280 jours nous en trouvons $136^{k.},4 \times 280 = 38192^{\text{kil.}}$ Or, l'hectolitre de charbon pèse $84^{\text{kil.}}$ environ, et en supposant qu'il coûte au moins 3 francs, nous trouvons $3\ \text{fr.} \times \frac{38192^{k}}{84^{k.}} = 1364$ fr., pour la somme qui reste dans la bourse du propriétaire. Cette somme serait dépensée si le cylindre de cette machine recevait la vapeur pendant toute la course du piston.

Ces exemples numériques devront naturellement frapper les propriétaires qui ont des machines à vapeurs, très-éloignées de la mine à charbon, fonction-

nant à pleine vapeur pendant toute la durée de la course du piston; ils verront clairement, que leurs machines leur dépensent chaque année des sommes considérables, qui devraient rester dans leurs coffres.

19. Ce tiroir à garnitures (fig. 9, §. 3), est employé pour les machines à basse pression; c'est-à-dire pour celles qui ne travaillent pas au-dessus de 1 atmosphère en sus de la pression atmosphérique, ce qui équivaut à 2 atmosphères pour le *maximum* de pression sur la surface du piston.

Il est mis en mouvement par une tige, fixée par des écrous, laquelle passe dans les trous pratiqués aux croisillons, qui sont placés vers les extrémités du tiroir et dans son intérieur, au tiers du rayon à partir du centre des demi-cylindres. Cet intérieur doit avoir la surface de la section transversale au moins égale à celle de l'un des orifices du cylindre; car plus il sera grand, plus l'échappement de la vapeur se fera promptement.

Chacune des longueurs des parties tournées *g'h'*, et *e'f'* est donnée par l'épaisseur de l'une des garnitures que nous mettons à chacune des parties, augmentée de la course du tiroir et de trois à quatre centimètres.

Ces garnitures sont maintenues dans la boîte au moyen des parties *k* et *m* (fig. 6) saillantes, existant intérieurement tout autour de la partie circulaire, sur lesquelles nous les posons; et sur chacune de ces garnitures nous plaçons une demi-couronne en bronze, qui remplit à peu près l'intervalle qui se trouve entre la boîte et le tiroir. Chaque demi-couronne étant po-

sée sur la surface supérieure de la garniture, nous la pressons par des vis que nous disposons de telle sorte que nous puissions l'atteindre pour la comprimer pendant que la machine fonctionne. Ce tiroir est appliqué contre deux plaques de friction *st*, *uv* (fig. 12), lesquelles font corps avec d'autres plaques qui servent à réunir au cylindre la boîte au tiroir; celles de friction sont dans le même plan parallèle à l'axe du cylindre, et chacune d'elle porte dans son milieu un trou de forme rectangulaire, que nous avons nommé dans ce qui précède l'orifice du cylindre.

Les garnitures sont en tresses de chanvre, et chacune d'elles est composée de 5, 6, 7 etc. tresses (fig. 9) placées l'une sur l'autre, qui remplissent exactement l'intervalle vide qui sépare le tiroir de la boîte. Elles sont imbibées de suif chaud, afin que, quand nous les comprimons au moyen des susdites vis, elles ne fassent qu'un tout, au travers duquel la vapeur ne puisse pas s'échapper, et avec lequel nous poussons le tiroir contre les plaques de friction.

L'orifice de la plaque *st* admet la vapeur sur le piston, celui *uv* de l'autre plaque, en dessous; de manière que, quand le tiroir glisse sur ces ouvertures, la vapeur de la chaudière traverse l'orifice pour entrer dans le cylindre, et aille en retournant par le même orifice au condenseur.

20. Le second tiroir (§. 4, fig. 7), étant sans garniture est généralement employé pour les hautes pressions, c'est-à-dire pour les machines qui fonctionnent avec de la vapeur dont la tension dans la chau-

dière surpasse toujours deux atmosphères; et comme celui-ci est très-court, par rapport au premier, nous plaçons toujours trois orifices sur une même plaque *ab* (fig. 13) de friction, parfaitement plane, parallèle à l'axe du cylindre et faisant corps avec ce dernier.

Le premier orifice *id* conduit la vapeur sur le piston; le second *nf* l'amène du cylindre au condenseur, quand elle a travaillé sur ou sous le piston, en retournant par le même orifice qui avait servi d'entrée; et le troisième *jh* la conduit comme le premier mais sous le piston.

Lorsque les orifices extrêmes sont déterminés, nous faisons celui du milieu un peu plus grand; de telle sorte que, sa largeur étant égale à celle des autres, nous donnons à sa hauteur les $\frac{7}{5}$ de celles des orifices extrêmes (plus grand il n'y a aucun inconvénient) afin que l'échappement de la vapeur se fasse le plus promptement possible. Ensuite, nous faisons $de = fg$, et les parties pleines extrêmes au moins égales à ces dernières; les parties *de* et *fg* seront égales en hauteur à celles des orifices ou plus grandes, selon que le tiroir est ou non à détente. Cette plaque de friction est saillante de la plaque principale sur laquelle nous fixons avec des boulons la boîte au tiroir.

21. Une fois les dimensions de cette plaque arrêtées, nous pouvons construire ce tiroir; mais nous allons d'abord opérer pour celui qui est sans détente. Celui-ci a ses bandes *oc*, *gn* (fig. 14), de même hauteur que celles *md*, *uh* des orifices, et celles-ci sont égales à

celles *oe*, *uf* de la plaque de friction des parties pleines. La section faite dans ce tiroir suivant *az* doit être égale à celle de l'orifice du condenseur ou du milieu, et sa course d'après ce que nous avons démontré (§. 10) est égale à $2 \times oe$; cette position du tiroir donnée par cette figure, correspond aux points morts de la manivelle *M*.

La longueur totale de ce tiroir est donnée par $md + de + ef + fg + uh = 4 \times md + ef = mh = on$; ce qui nous fait voir qu'elle est égale au produit de quatre fois la hauteur d'un orifice augmenté de celle de l'orifice du condenseur. Nous avons dit (§. 6) que ce genre de tiroir était employé pour les machines à deux cylindres dites de Woolf.

Vient ensuite le tiroir à détente; mais dans ce genre nous en distinguons deux espèces : 1° celui à détente fixe; 2° celui à détente variable. Tous ces tiroirs peuvent être mus par un excentrique circulaire, sauf ce dernier qui est mis en mouvement par un excentrique particulier formé de parties circulaires et de parties paraboliques.

22. Le premier à détente fixe tient beaucoup de celui que nous venons de traiter (§. 20), tant par sa forme que par ses orifices; mais il a quelque chose de commun avec le tiroir à garniture aussi à détente fixe : ce sont les bandes *eo*, *gn* (fig. 15) qui sont plus grandes que les orifices; et ce que nous avons dit (§. 9) pour les points *a* et *d* (fig. 9) appartenant aux bandes s'applique exactement aux points *o*, *g* (fig. 14), à l'égard des autres points *d* et *u*. Ces points *o*, *g* doivent

coincider avec ces derniers, comme l'indique la fig. 15, quand la manivelle du tiroir est à l'un de ses points morts; et quand celle *M* du piston est à l'un des siens, c'est le point *c* ou le point *n* qui doit coincider avec le point *m* ou le point *h*, selon que c'est de *o* ou de *n* dont il s'agit; la fig. 16 nous fait voir cette position.

Ce tiroir se règle exactement de la même manière que celui de la fig. 9; seulement ce que nous avons dit de celui-ci (§. 9) pour les arrêtes extérieures de ses bandes, s'applique parfaitement à ce tiroir pour les arrêtes intérieures de ses bandes. Sa longueur totale est donnée par $co + oe + ef + fg + gn = cn$ (fig. 15); mais nous devons avoir $co = oe = fg = gn$, donc cette longueur est égale au produit de 4 fois l'une des bandes augmenté de la hauteur de l'orifice du condenseur; d'où $cn = 4 \times co + ef$. Sa course est aussi égale (§. 10) au double de l'une des bandes.

Nous avons déjà remarqué (§. 4) que les mouvements de ces deux tiroirs ont des directions contraires; c'est-à-dire que, si nous supposons deux machines pareilles, mais ayant les tiroirs différents et les pistons au bas de leur course, le mouvement s'effectuera en descendant pour celui qui est à garniture et en montant pour celui qui n'en a point. C'est en disposant convenablement les deux bras du levier (fig. 26), qui transmet le mouvement au tiroir, que nous changeons leur direction; de sorte que les excentriques ne sont pas modifiés pour cela.

23. Dans le tiroir à détente variable (fig. 17) la pla-

que de friction est la même que la précédente ; seulement les hauteurs des parties pleines *de* et *fu* ont toujours de 0m,006 à 0m,008 de plus que les hauteurs *dm*, *uh* des orifices, afin que, quand la détente a lieu, il y ait un recouvrement de 0m,002 à 0m,004 de chaque côté des bords de l'orifice, pour que la vapeur ne trouve pas d'issue pour entrer dans le cylindre ou pour en sortir.

Les dimensions du tiroir sont un peu modifiées ; nous les construisons de manière que la hauteur du creux *og* soit égale à $md+de+ef+fu-\frac{ed-dm}{2}=og$ $=md$ ou $uh+2\times ed+ef-\frac{ed-dm}{2}$, car $de=fu$, et les bandes *oo*, *gn* égales à *de*, *fu* ; de sorte que nous avons :

$$de=co=fu\text{ , }gn.$$

Ainsi la longueur totale de ce tiroir est égale à $md+4\times ed+ef-\frac{ed-dm}{2}=cn$; et sa course à

$$2\times md+oo+\frac{ed-dm}{2}.$$

24. En effet, le tiroir, dans la position que nous le représente la fig. 17, laissant l'orifice supérieur tout ouvert, la vapeur entre naturellement dans le cylindre, puisque nous savons qu'elle est logée entre la boîte et le tiroir. Ensuite, si nous voulons arrêter complètement l'introduction de cette vapeur dans le cylindre, c'est-à-dire si nous voulons boucher l'orifice de manière que nous n'ayons aucune fuite, nous ferons monter le tiroir de la quantité

$$dm+\frac{ed-dm}{2};$$

de sorte que, quand le point c passera sur le point m, comme dans la fig. 18, la détente commencera, c'est-à-dire que le cylindre ne recevra plus de vapeur, et celle qui s'y trouve renfermée se dilatera.

Comme l'expansion a lieu au fur et à mesure que le piston cède sous la pression, celui-ci parvient au bout de sa course ascendante ou descendante; alors il convient que nous introduisions la vapeur par l'autre orifice uh qui est ouvert au condenseur, afin que le piston parcoure une autre course de direction contraire à la précédente. Pour cela, et pour que l'orifice soit ouvert, il faut que nous fassions monter le point n du tiroir jusqu'en u, ce qui nous fait voir qu'il s'élèvera de

$$ng + hu.$$

Le tiroir montera donc en deux fois de

$$dm + \frac{ed - dm}{2} + ng + hu = 2 \times dm + co + \frac{ed - dm}{2}, \ (1).$$

Nous pouvons donc dire que la course de ce tiroir est égale au double de la hauteur de l'un des orifices, augmenté de celle d'une bande et de la demi-différence entre cette dernière et la hauteur d'un orifice.

25. Nous employons ce tiroir pour les machines qui doivent fonctionner avec une détente très-étendue. Nous pouvons aussi nous en servir pour celles qui doivent marcher tantôt à détente, tantôt à pleine vapeur; car il rend la machine plus simple pour le mécanisme, que celles qui ont deux tiroirs pour effectuer la détente. Il devrait être plus souvent employé, car jusqu'à ce jour nous ne le voyons guère figurer que dans quelques machines; et, outre l'avantage qu'il a de simplifier

celles-ci, il fait varier la détente, suivant le besoin de force dont nous voulons disposer dans les usines, où la résistance peut varier d'un jour à l'autre.

Ainsi, par exemple, dans un moulin à farine mu par une machine à vapeur qui ferait tourner 4 paires de meules, ce qui serait la charge *maximum* que la machine pourrait traîner. Les meules ayant souvent besoin d'être rabiées, nous serions obligés d'en faire marcher trois pour réparer la quatrième. Or dans ce genre de travail, il est essentiel que la machine donne toujours le même nombre de coups de piston; nous voyons donc que le volume de vapeur dépensée sera à peu près le même : soit qu'il y ait quatre ou trois paires de meules en mouvement; seulement la tension sera un peu moins forte; malgré cela il y a perte dans la dépense de vapeur; Si au lieu d'emplir totalement avec celle-ci le cylindre comme cela se fait quand la machine entraîne les quatre paires de meule, nous ne l'emplissions qu'aux $\frac{3}{4}$ par exemple, il est évident qu'il y aurait à chaque coup de piston simple $\frac{1}{4}$ d'économie du volume d'une course du piston; et la machine aurait encore plus de force qu'il ne lui en faudrait pour faire tourner 3 paires de meule. De sorte que la machine marcherait à pleine vapeur pendant les $\frac{3}{4}$ de la course du piston, et à détente pendant l'autre $\frac{1}{4}$.

Mais à un pareil tiroir il faut un excentrique qui donne la facilité de le mettre en mouvement dans

les instants convenables ; et comme cet excentrique est assez difficile pour être bien exécuté et bien compris, nous allons donner un moyen pour le tracer.

26. Lorsque dans les machines à vapeur la détente devra se faire pendant une petite partie de la course du piston, comme par exemple pour $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{10}$ de cette course, nous pourrons employer l'excentrique circulaire; et lorsque cette détente devra avoir lieu pendant une grande partie de cette course, comme par exemple pour $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, et $\frac{3}{4}$, de cette même course, nous emploierons l'excentrique que nous allons obtenir graphiquement, en nous servant des formules (§. 23), pour qu'il fasse agir le tiroir dans les moments opportuns.

27. Soit par exemple (fig. 17) $md=0^m,03$ la hauteur de l'orifice, que nous déterminons comme nous l'indiquons plus loin; puis $ng=uf=ed=oc=0^m,036$ la hauteur de l'une des bandes, et $ef=0^m,045$ celle de l'orifice du condenseur, nous avons alors pour la course C du tiroir, formule 1 (§. 24) :

$$2\times0,03+0^m,036+\frac{0,036-0,030}{2}=0^m,099.$$

Nous supposons ensuite que le volume de vapeur détendue soit le double de celui de la vapeur qui est introduite, c'est-à-dire que l'orifice qui livre passage à la vapeur pour arriver sur ou sous le piston, soit ouvert pendant la demi-course de ce dernier, et fermé pendant l'autre ; ce que nous exprimerons habituelle-

ment par une détente à demi-course ; ce qui est encore à peu près la même chose, quand nous disons que la détente se fait pendant $\frac{1}{4}$ de révolution de la manivelle M.

Cela posé, prenons un rayon $OS = C + R' + E$, C est la course du tiroir ($= 0^m,099$), R' le rayon de l'arbre de couche sur lequel est fixé l'excentrique, nous supposons pour cet exemple $R' = 0^m,06$, et enfin E est l'épaisseur de l'excentrique dans le sens du rayon à la partie la plus mince, épaisseur que nous ferons toujours de $0^m,03$ à $0^m,035$ pour les machines au-dessus de 15 chevaux vapeur, et de $0^m,02$ à $0^m,25$ pour celles au-dessous de cette force, nous aurons alors le rayon

$$OS = 0^m,099 + 0,06 + 0,03 = 0^m,189,$$

avec lequel nous traçons la circonférence de cercle OS; (fig. 25) nous nommerons dans ce qui suit les circonférences par leurs rayons.

Maintenant traçons trois autres circonférences, la première avec un rayon

$$OR = OS - C = 0^m,189 - 0^m,099 = 0^m,090,$$

la seconde avec un rayon

$$OA = OS - H = 0^m,189 - 0^m,033 = 0^m,156,$$

H est la quantité (§. 24) :

$$md + \frac{ed - md}{2} = 0^m,03 + \frac{0^m,036 - 0^m,030}{2} = 0^m,033,$$

et enfin la troisième avec un rayon

$$OF = OS + OR - OA = 0^m,189 + 0^m,090 - 0^m,156 = 0^m,123.$$

Ensuite sur le rayon OS à partir du point S nous

prenons une partie Sd égale aux $\frac{4}{5}$ $(OS - OF) = \frac{4}{5} \times SF = 0^m,0538$, et au point d nous élevons une perpendiculaire dE, égale aux $\frac{5}{6} \times Sd$, que nous prolongeons de part et d'autre d'une même quantité, ce qui nous donne $dE = di$; puis nous divisons Sd et Ed en un même nombre de parties égales, et par les points de division de Ed nous menons des parallèles à Sd. Alors du point i et par chacun des points de division de la droite Sd, nous tirons des droites que nous prolongeons jusqu'à la rencontre des parallèles : la 1re en passant par la première division à partir du point S, rencontrera la première parallèle à partir du point d, la 2me rencontrera la deuxième à partir des mêmes points, et ainsi de suite jusqu'à la dernière; or tous ces points de rencontre nous donnent la courbe SE.

Enfin du point E avec un rayon $ED = OA = 0^m,0156$ nous traçons un arc $k'l'$, et du centre O avec un autre rayon $OD = OA + OF = 0,156 + 0^m,123 = 0^m,279$ nous traçons un autre arc $z'x'$, et par la rencontre de ces deux arcs et par le centre O nous menons OD. Du point E, sur cette droite OD, nous tirons la perpendiculaire ER' prolongée des deux parts d'une même quantité, et nous avons $L'E = L'R'$; puis sur les droites mL', ER' nous opérons de la même manière que sur les droites Sd, Ei, et nous obtenons ainsi une suite de points E, r', s', t' et m qui nous donnent la courbe Em, que nous raccordons au point E avec la première SE; cela nous donne la courbe totale SEm.

Par le point *z*, rencontre de la circonférence OA avec la courbe SEm, nous portons sur celle-là, et dans le sens du mouvement de l'excentrique, un arc *ze* égal au $\frac{1}{4}$ de cette circonférence ; ensuite nous tirons le rayon *eo*, qui rencontre en *n* et *v* les circonférences OF et OR. A partir du point *n* nous prenons sur *eo* une distance *nt* $= \frac{2}{3} \times nv = \frac{2}{3}(OF - OR) = 0^m,033$, et au point *t* nous élevons une perpendiculaire *at* égale à *nt*, laquelle *at* nous prolongeons de l'autre côté d'une même quantité *tf*; puis sur les droites *af*, *nt*, nous opérons encore de la même manière que nous venons de suivre, pour obtenir la courbe SEm ; ce qui nous donne les points *n*, *f'*, *g'*, *h* et *f*, par lesquels nous faisons passer la courbe *nf*.

Lorsque cette dernière courbe est obtenue, du point *f* comme centre, avec un rayon $OA = 0^m,156$ nous traçons un arc de cercle ; puis du point O, avec un autre rayon $OA + OR = 0^m,156 + 0^m,090 = 0,246$, nous traçons un autre arc qui rencontre le précédent au point C. Alors par le point C et par le centre O nous menons la droite CO, qui rencontre en B' la circonférence OR, sur laquelle droite CO et par le point *f* nous tirons la perpendiculaire fM, qui est coupée en deux parties égales par le point N; ensuite, sur les droites NB', fM nous construisons, comme nous venons de le faire trois fois, la courbe fB' que nous raccordons avec *nf* au point *f*, et nous avons alors l'autre courbe entière nfB'. Cela fait, nous prolongeons des deux parts le rayon SO,

et nous avons $M'N'$, qui nous fait voir que la courbure $SEmnfB'p$ est la moitié de l'excentrique.

Il nous reste à déterminer l'autre moitié $SlKqBPp$ de l'excentrique ; mais auparavant nous dirons un mot sur les deux courbes SEm, nfB, et nous remarquerons que ce qui aura lieu pour l'une se répètera exactement pour l'autre. La courbe SEm est formée par deux demi-paraboles, l'une ayant son sommet en S, l'autre en m ; et elle a par sa forme la propriété de faire passer le chariot de l'excentrique ou sa bielle, et par suite le tiroir, du repos au mouvement en partant du point m par des degrés de vitesse, partant de zéro, augmentant sensiblement jusqu'à un certain point d', pour retourner de là, du mouvement au repos, aussi par degrés de vitesse en diminuant sensiblement jusqu'à zéro au point S. Ce qui est très-avantageux pour les articulations du chariot et du tiroir, parce qu'elles n'ont pas, de cette manière, à supporter des chocs puissants comme ceux qui sont occasionnés par certaines cames employées à cet usage.

Actuellement reprenons la construction de l'excentrique, et prenons $M'N' = OS + OR + 2 \times r''$, la distance entre les deux axes des galets du chariot de l'excentrique, r'' est le rayon de ces galets que nous ferons toujours égal pour toutes les machines à $0^m,04 = r''$, (nous ferons les rayons des boulons de ces galets égaux à $0^m,012$); nous aurons ainsi pour la distance des deux axes: $M'N' = 0^m,189 + 0^m,090 + 2 + 0,40 = 0,359$ pour l'exemple que nous avons pris; car il faut remarquer que, tout en traitant ce tracé d'une manière générale,

nous donnons une application de l'excentrique. Cette distance $M'N'$ nous la supposons inflexible et inextensible, comme cela a lieu dans la pratique.

Cela posé, nous faisons rouler le galet M' sur la courbe $SEmnfB'p$, en ayant soin de toujours faire passer $M'N'$ par le centre O de l'arbre de l'excentrique; alors nous voyons clairement que l'autre galet N' trace l'autre moitié de ce dernier.

Cette opération s'effectue en prenant, sur chacune des courbes SEM, nfB', un grand nombre de points à peu près également espacés, par lesquels nous tirons autant de rayons prolongés de part et d'autre; ensuite, par chacun de ces points avec le rayon $r'' = 0^{m},04$, nous traçons autant d'arcs de cercle, et l'enveloppante $M'UVYN'$ à tous ces arcs, ou la courbe qui lui est tangente, est celle que décrit M' en roulant sur la courbe. Sur chacune des droites qui passent par le centre O, à partir de son point de rencontre avec cette enveloppante, nous portons de l'autre côté de ce centre la distance $M'N'$; et par chacun des points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12, marqués par cette longueur sur ces droites, nous traçons une circonférence de cercle de rayon $r'' = 0^{m},04$; les enveloppées lK et qp, étant raccordées avec les arcs de cercle Sl et Kq, nous donnent l'autre moitié de l'excentrique.

28. Ce dernier étant d'une seule pièce, ne peut être qu'à détente fixe, pour fermer l'orifice quand le piston a parcouru la moitié de sa course. En effet, si nous supposons, comme le représente la figure, le galet M' au point S, en remarquant que l'autre galet N' lui

est directement opposé, nous concevons facilement que le chariot de l'excentrique, étant dans cette position, est au plus haut ou au plus bas de sa course; il y a donc un orifice ouvert complètement à la vapeur de la chaudière, et l'autre l'est au condenseur. Cela dit, nous remarquons encore que l'orifice, qui est ouvert à la vapeur, a commencé à s'ouvrir quand le galet *M'* est passé sur le point *z*, et qu'il ne se ferme que quand il passe sur le point *K*; car *lh* est égal par construction à la hauteur de l'orifice augmentée de 0m,003. Dans cette position du galet, la vapeur entre donc dans le cylindre, pendant tout le temps qu'il met à parcourir la courbe *zSlK*; et comme l'arc *zK*, qui mesure l'angle qui renferme cette dernière, est égale au $\frac{1}{4}$ du contour de la circonférence *OA*, il arrive que l'orifice laisse entrer la vapeur dans le cylindre, et reste ouvert pendant le quart de la révolution de la manivelle du piston, ou bien pendant la demi-course de celui-ci.

Le galet *M'* étant arrivé en *K* et continuant de marcher, roule sur l'arc *Kq* qui est décrit avec le rayon *OA*; par conséquent l'orifice qui s'est fermé au point *K*, reste dans cet état jusqu'à ce qu'il ait atteint le point *B*, pour parcourir de là la courbe *Bp*. C'est en partant de ce point *B* que l'orifice, qui s'est fermé au cylindre après avoir reçu la vapeur de la chaudière, commence à s'ouvrir au condenseur; et en continuant ainsi il s'ouvre complètement, pour rester dans cette position jusqu'à ce que le galet *M'* soit retourné sur le point *z*.

Nous remarquons que la partie *BP* de la courbe, ou

l'arc TL, qui mesure l'angle qui renferme cette dernière, est parcouru par la vitesse acquise du piston ; puisque l'orifice qui tient la vapeur renfermée dans le cylindre s'ouvre au point B, et que LP est dans le plan milieu de la manivelle quand elle est à un des points morts ; si toutefois l'excentrique commandait directement le tiroir, mais comme cela n'est pas toujours de même, alors ce plan milieu se trouve dans l'un des bras du levier qui fait agir ce dernier. Il est facile de voir d'après ce qui précède, que l'arc KL qui est égal à l'arc zK, (leur somme égale la demi-circonférence), est parcouru partie KB par la détente et partie BP par la vitesse acquise. L'orifice est donc resté ouvert pendant une demi-course du piston et fermé pendant l'autre ; donc l'excentrique est à détente comme nous l'avons demandé. La partie BT du rayon OA est égale à $\frac{ed-dm}{2}$ (§.24); c'est la quantité dont monte ou descend le tiroir, pour démasquer l'orifice au condenseur.

29. Dans la démonstration précédente nous avons agi comme si le chariot tournait autour de l'excentrique; dans la pratique ces deux pièces ont des mouvements différents : la première un mouvement à peu près rectiligne alternatif, et la seconde un mouvement circulaire continu.

Cet excentrique, lorsqu'il agit directement sur le tiroir, se fixe sur l'arbre de couche, au moyen d'argot, de telle sorte que le point z, ou l'un des orifices du cylindre est prêt à s'ouvrir à la chaudière, se trouve dans le plan passant par les axes des galets du chariot

et par le milieu de la manivelle du piston quand celle-ci est à l'un des points morts; et lorsqu'il commande un levier qui transmet le mouvement au tiroir, il faut que l'argot soit disposé sur l'arbre de telle manière que, quand la manivelle est à l'un des points morts, la ligne *XOP* soit dans le plan des axes des galets, et à peu près perpendiculaire au bras de levier qui reçoit l'action de l'excentrique.

Dans cette position de l'excentrique, le tiroir doit être prêt à donner issue à la vapeur, pour aller travailler sur le piston, c'est-à-dire que le point *c* (fig. 18) doit coïncider avec le point *m*; nous supposons que le tiroir descende. Nous nous assurons si ces deux points coïncident, par la méthode que nous avons donnée (§. 9).

Ce tiroir, dans une certaine position, laisse les deux orifices du cylindre communiquer avec celui du condenseur. Cette position ayant lieu quand la manivelle va passer par les points morts, lorsque la vitesse acquise entraîne le piston, nous concevons facilement que cela n'a aucun inconvénient; au contraire, puisque la vapeur qui a travaillé s'en va au condenseur, à l'instant même qu'elle n'a plus d'influence sur le piston.

30. Si nous prenions un autre exemple de cet excentrique, et que nous agissions en sorte que celui-ci fasse fermer les orifices au $\frac{1}{4}$ de la course du piston, ou au $\frac{1}{8}$ de la révolution de la manivelle, nous verrions clairement que, les dimensions des orifices et des autres parties restant les mêmes, la construction de cet ex-

centrique se ferait de la même manière, hormis les arcs zK, ze que nous égalerions : le premier à $\frac{1}{8}$ de circonférence OA (fig.25), et le second aux $\frac{3}{8}$ de cette dernière.

En effet, le dénominateur de la fraction $\frac{1}{4}$ représente le nombre de parties égales contenues dans la course du piston, ou celles qui le sont dans la demi-révolution de la manivelle, ou bien encore celles qui sont renfermées dans la somme des arcs $Kz + ze$, ou $zK + KL$, car ze égale toujours KL. Le numérateur représente celui de la course du piston parcourue pendant l'admission de la vapeur dans le cylindre, ou celui de la longueur de l'arc qui doit tenir l'orifice ouvert pendant cette admission de vapeur. Il y a donc proportion, ou en d'autres termes le rapport 1 : 4 est le même que celui qui existe entre la partie de révolution qui tient l'orifice ouvert, et la moitié de cette révolution; ce qui nous donne :

$$1 : 4 :: zK : zK + KL, \text{ et } 3 : 4 :: KL : zK + KL;$$

$$\text{d'où } zK = \frac{zK + KL}{4}, \text{ et } KL = \frac{3\,(zK+KL)}{4};$$

$$\text{et comme } zK + KL = \frac{\text{circ. } OA}{2}, \text{ nous avons}$$

$$zK = \frac{\frac{\text{circ. } OA}{2}}{4} = \frac{1}{8} \text{ circ. } OA,$$

ce que nous avons énoncé; pour KL nous trouvons :

$$KL = \frac{3}{8} \text{circ. } OA.$$

31. En général, n' étant le numérateur de la fraction qui exprime la détente, m' son dénominateur, c' la cir-

conférence OA, et x l'arc de cette dernière, qui tient l'orifice ouvert pendant que le piston parcourt la partie n' de sa course, nous avons :

$$\frac{n'}{m'}=\frac{x}{\frac{c'}{2}} \text{ d'où } 2.m'.x=c'.n'; \text{ d'où encore } x=\frac{c'}{2}\times\frac{n'}{m'}.$$

Ainsi donc, tout consiste à diviser la demi-circonférence $\frac{c'}{2}$ en m' parties égales, et d'en prendre n' parties pour l'arc qui doit tenir l'orifice ouvert; l'autre partie qui restera sera celle qui le tiendra fermé.

32. Passons maintenant à l'excentrique à détente variable ; et prenons la fig. (24) *stucdefgnopkl*, par derrière laquelle, et sur le même axe, nous supposons une autre figure *abcdefghijklma*. Ensuite, nous remarquons que le contour extérieur *abcdefgnopklma*, qui enveloppe ces deux figures ainsi placées, nous donne un excentrique à détente fixe aux $\frac{5}{8}$ de la course du piston. ($\frac{n'}{m'}=\frac{5}{8}$ est à peu près la limite *maximum* de la tente, que peuvent faire donner les excentriques de cette construction, pour pouvoir marcher à détente ou à pleine vapeur); excentrique qui est construit de la même manière que celui de la fig. 25, seulement l'arc qui tient l'orifice ouvert à la chaudière est plus grand. La partie de derrière porte une douille concentrique à l'arbre de couche, sur laquelle nous plaçons et nous faisons tourner au besoin la partie de devant ; ces deux parties sont liées ensemble au moyen d'un boulon qui les traverse, et qui permet le glissement de l'une des parties sur l'autre.

L'excentrique étant ainsi conçu, peut être disposé de telle sorte que la machine marchera, quand nous le voudrons, à pleine vapeur ou à détente, suivant le besoin que nous avons de la machine, pour faire une certaine quantité d'ouvrage. En effet, nous supposons que ces deux parties d'excentrique soient séparées, et représentées par les parties *stuodefgnopkls*, *abcdefghijklma;* la première tournant au besoin, comme nous l'avons déjà dit, sur la douille de la seconde, et celle-ci fixée sur l'arbre. Il est évident que les parties *cdefgn* de chacune d'elles, qui tiennent l'orifice ouvert à la chaudière pendant les $\frac{5}{8}$ de la course du piston, sont égales; car nous les avons construites étant superposées l'une sur l'autre; nous pouvons donc rendre la courbe *odefgn* de celle de derrière beaucoup plus longue, en faisant tourner la partie de devant sur celle de derrière, de manière qu'elle devienne *aqrs'defg*.

Les courbes *gnk* et *qam* réunies au grand arc *qrs'defg* et au petit arc *lki*, la première ayant été déterminée par le procédé que nous avons donné au (§. 27), et la deuxième au moyen de la première courbe et du chariot, comme nous l'avons fait au même paragraphe, nous donnent l'excentrique *aqrs'defghijklma*, qui ferait fonctionner la machine à pleine vapeur; car l'arc $AB = \frac{5}{8} \times \frac{\text{cir. } OA}{2}$, et $BC = \frac{3}{8} \times \frac{\text{cir. } OA}{2}$ par construction; d'où $AB + BC = \frac{\text{cir. } OA}{2}\left(\frac{5}{8} + \frac{3}{8}\right) = \frac{1}{2}\text{cir. } OA$.

Or, comme le tiroir ouvre l'orifice à la chaudière

quand le galet quitte le point *A* en allant vers *gfedete*, (nous devons nous rappeler que l'excentrique tourne suivant le sens de la flèche), qu'il le ferme lorsque ce galet passe par le point *D*; puis, qu'il l'ouvre au condenseur quand ce même galet est en *E*; et comme la manivelle du piston a fait pendant ce temps sa demi-révolution, il est évident que le cylindre a reçu de la vapeur, (c'est-à-dire que l'orifice est resté ouvert à la chaudière,) pendant tout le temps qu'il a fallu à la manivelle pour parcourir l'arc *ABC*, et que le petit arc *DC* est parcouru par cette dernière, partie par la détente, partie par la vitesse acquise. Or, comme l'arc *DC* est très-petit, en le comparant à l'arc *ABD*, nous pouvons le considérer comme nul; donc cet excentrique *aqrs'-defkhijklma* est à pleine vapeur. Dans cette forme de l'excentrique, la courbe *gnopk* de la partie de devant se trouve en *svxyh*, et la courbe *s'eutsl* en *qDml*.

D'un autre côté, si nous remettons ces deux parties qui forment l'excentrique, comme elles étaient avant que nous les fissions tourner l'une sur l'autre, nous ajoutons à cet excentrique, d'un côté le segment *nhij-kpon*, et de l'autre nous retranchons le segment *s'c-baqrs'*; de sorte que nous avons alors l'excentrique à détente aux $\frac{5}{8}$ de la course du piston. En effet, l'arc $\overset{\frown}{AB}$ ayant été fait égal aux $\frac{5}{8}$ de $\frac{\text{circ.}\,OA}{2}$, le cylindre recevra de la vapeur pendant tout le temps que le galet met à parcourir la courbe *AgfedcB*; de même, la détente aura lieu pendant tout le temps que met le même

galet à parcourir la courbe *Bbaml*; or, ces deux courbes étant parcourues pendant la course entière du piston, l'excentrique est aussi à détente. Mais, entre ces deux limites, (pleine vapeur et à détente aux $\frac{5}{8}$), nous pouvons obtenir successivement les détentes aux $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{8}{9}$ et $\frac{9}{10}$ de la course du piston, puisque nous n'avons qu'à serrer le boulon qui lie ces deux pièces formant l'excentrique, au point convenable; donc ce dernier est à détente variable.

33. Ainsi en résumant, nous voyons que la construction de cet excentrique consiste donc : 1° à tracer un excentrique *abcdefgnopklma*, comme nous l'avons fait en suivant le procédé que nous avons donné au (§. 27), et en le faisant en deux parties, dont chacune ait une épaisseur de $0^m,04$ à $0^m,05$; 2° à supprimer à la partie de derrière le segment *nhijkpon*, en continuant la courbe *gnhi* jusqu'à la circonférence *OR* d'un contour égal à *pk*, de manière qu'en faisant appliquer l'une sur l'autre les deux courbes *hi* et *pk* elles coïncident parfaitement; 3° enfin, à supprimer à la partie de devant le segment *lmabcutsl*, et à continuer la courbe *scut*, d'un contour égal à celui de *lma* construit au moyen de la courbe *gnhi* et du chariot, jusqu'à la circonférence *OR*; de sorte que, en appliquant l'une sur l'autre les courbes *scut* et *aml*, elles coïncident parfaitement.

L'excentrique étant ainsi construit, nous le montons avec son chariot sur un axe en bois ou en fer, et

nous le mettons sur les pointes d'un tour, auquel nous donnons un mouvement continu, en tenant à la main l'une des extrémités du chariot, pour s'assurer si l'excentrique a toujours les deux galets de ce dernier en contact avec sa surface.

Si nous apercevions, en quelques points de la surface courbe, des parties qui seraient un peu raides, pour laisser rouler les galets, nous limerions ces parties en ne laissant aucun jarret à la courbe, parce qu'il gênerait la marche de cette pièce.

Nous disons encore que la partie *ab* (fig. 19) de derrière est fixée sur l'arbre au moyen d'argot, et qu'elle porte une douille *efgh* bien tournée, sur laquelle nous plaçons la partie *dc* de devant, qui tourne sur cette douille, afin que nous puissions à volonté augmenter ou diminuer l'arc de cercle, qui tient l'orifice ouvert à la chaudière. Ces deux parties formant l'excentrique sont liées par le boulon *kl*, dont la tête porte un arrêt *u*, et est entaillée dans la fraisure de la mortaise; sur la pièce de devant nous pratiquons cette dernière, qui permet le glissement de cette pièce sur l'autre, autour du centre *O* commun, lorsque ce boulon est desserré et que l'arrêt *u* est sorti de son trou. Par l'autre bout du boulon est un écrou rond, logé dans une autre fraisure faite sur la pièce à douille; cet écrou est serré ou desserré au moyen d'une clé à goupilles, que nous introduisons dans les petits trous pratiqués sur sa surface.

La fraisure et la mortaise dans lesquelles est le boulon, sont circulaires et de même centre *O* que l'excentrique; la première porte une suite de petits trous, qui

servent à loger l'arrêt *u*, lesquels sont distants de manière à indiquer le degré de détente, auquel nous voulons faire fonctionner la machine. C'est par seizième que nous ferons ces divisions, c'est-à-dire que la distance d'un trou à l'autre sera un seizième, parce que $\frac{5}{8}=\frac{10}{16}$, le *maximum* de la détente que nous pouvons obtenir avec cet excentrique, est le multiple de $\frac{1}{16}$. Ainsi nous dirons : la machine détendra à zéro, aux $\frac{15}{16}$, aux $\frac{14}{16}$, aux $\frac{13}{16}$, aux $\frac{12}{16}$, aux $\frac{11}{16}$ et aux $\frac{10}{16}$ de la course du piston, lorsque l'arrêt *u* aura été placé dans l'un des trous, qui se trouvent en face des fractions (fig. 20) indiquées sur le limbe de cette figure, que porte ordinairement la partie de devant de l'excentrique.

Nous nous rendrons compte de cette manière de la dépense de vapeur, que fera la machine dans toutes les circonstances.

34. *Observations.* Le point *z* (fig. 25), où l'orifice est prêt à être ouvert, doit toujours se trouver comme nous l'avons déjà dit dans le plan passant par les axes des galets du chariot, lorsque la manivelle est à l'un des points morts, c'est la règle générale pour le fixer sur l'arbre de couche. Nous ferons bien attention de nous bien pénétrer du mouvement de la machine, s'il est en dedans ou en dehors, autrement dit, en avant ou en arrière. Pour cela, nous allons fixer la position de l'observateur à l'égard de la machine : nous prendrons toujours le cylindre à sa droite, l'arbre de couche à sa gauche en faisant face à la projection ver-

ticale longitudinale de la machine, et nous appellerons tourner en dedans ou en avant, quand la manivelle en tournant, montera du côté du cylindre, et en dehors ou en arrière, quand elle montera du côté opposé au précédent. Cela s'applique aux machines qui n'ont pas les axes des arbres de couche dans le plan passant par l'axe du cylindre. Pour celles qui ont les axes dans ce plan, nous nous fixons sur la boîte au tiroir et nous dirons tourner en dedans ou en avant, quand la manivelle montera du côté de cette boîte, et le contraire quand elle montera de l'autre côté. Ce qui nous donne les deux directions du mouvement circulaire continu, que nous pouvons faire prendre successivement à la machine. Il est essentiel de bien nous entendre là-dessus, parce que l'excentrique, à l'égard de la manivelle, n'est pas posé de la même manière, pour marcher en avant et en arrière. Nous verrons bientôt ce cas, pour les excentriques mobiles sur les arbres de couche.

Une autre remarque non moins importante, est que le point *z* doit toujours être le premier à attaquer l'un des galets, pour faire ouvrir l'orifice à la chaudière, lorsque la manivelle va quitter l'un des points morts. Nous insistons sur ce sujet, parce que c'est la partie la plus délicate des machines, et qu'il convient par cette raison de toujours bien disposer.

35. Détail des pièces des excentriques. L'excentrique circulaire est composé d'un cylindre en fonte, tourné, garni de deux bords *ab*, *cd* (fig. 21) ou couronne, formant ensemble une gorge *ef* dans laquelle

nous logeons le collier k (fig. 22) de deux pièces égales, en bronze ou en fonte; chacune de ces pièces porte deux oreilles garnies de trous, dans lesquelles nous introduisons les extrémités i, g (fig. 23) de deux tringles gh, ib, en fer, lesquelles sont munies d'écrous qui servent à relier les deux autres parties du collier. Les autres extrémités de ces deux tringles, sont terminées par des pattes, que nous fixons au moyen d'un boulon mn sur la tige oq, aussi en fer. Celle-ci se trouve arrêtée par une goupille dans la douille u, faisant corps avec les parties du collier, et porte en v une encoche, dans laquelle vient se loger le bouton a (fig. 26) de l'un des bras du levier cba, qui fait fonctionner le tiroir. En cet endroit de l'encoche, nous fixons au moyen de vis une pièce jp (fig. 23) en fer. que nous appelons martingale, de manière que le milieu de cette enco he la divise en deux parties égales; cette pièce sert à retenir le système iqg, que nous nommons bielle d'excentrique, en cas que, par maladresse, nous rendions le frottement exercé par le collier sur l'excentrique, assez grand pour l'emporter autour de l'axe E : ce à quoi nous devons toujours porter une grande attention. La longueur oy intérieure de la martingale doit être égale au double de la longueur de la manivelle m du tiroir, augmenté du diamètre du bouton a (fig. 26) et de 0m,01 environ. Celle AB (fig. 23) de la bielle d'excentrique prise entre deux parallèles, l'une passant par les centres E, D de l'excentrique, et l'autre par le milieu v de l'encoche, est donnée par la distance du centre de l'arbre de couche qui porte la manivelle

du piston et celle du tiroir, au centre du bouton *a* (fig. 26) lorsque cette manivelle *m* et celui-ci sont placés exactement à leur demi-course. Dans cette position il faut que la droite *ef*, que nous tirons indéfiniment par ce bouton sur son bras *ba* de levier, rencontre perpendiculairement la droite *AC* (fig. 23) menée par les deux centres de l'excentrique. Au-dessus de l'encoche nous fixons une autre pièce *ts*, en fer, que nous appelons embrayage; laquelle tourne autour d'une vis *s*, et sert à mettre le tiroir en mouvement ou en repos.

36. Le chariot de l'excentrique à détente variable est composé de deux plateaux en fonte *ab*, *cd* (fig. 27), qui sont chacun muni de deux oreilles *e*, *f* (fig. 28) entre lesquelles nous logeons un galet en fer de l'épaisseur totale de l'excentrique, et d'un rayon *r*'' que nous avons donné (§.27); lequel galet est fixé par un boulon qui traverse le trou *l*, (le diamètre de ce boulon a été déterminé au même paragraphe). Ces plateaux sont réunis par quatre entretoises *ab* (fig. 29) en fer, munies d'écrous à leurs extrémités, et portant chacune une plaque *mn* en acier trempé, qui est destinée à frotter contre l'arbre de couche, afin que celui-ci, en tournant, ne l'use pas en peu de temps. Le plateau *cd* (fig. 27) fait corps avec une forte tige en fonte *oq*, qui se termine de la même manière que la bielle de l'excentrique précédent, et dont les conditions sont les mêmes hormis la parallèle *AC* perpendiculaire à *HK*, qui doit passer par le centre *E*, par le point *z* que nous connaissons, et par les axes des galets. L'axe de l'arbre de couche *E* doit

toujours se trouver dans le plan qui passe par les axes des galets. L'excentrique doit se trouver aussi dans le milieu du chariot, mais du côté qui le met perpendiculaire au plan précédent; de cette manière, quand l'excentrique sera bien construit, les galets seront tangents à la surface de ce dernier.

37. *Des Heurtoirs.* Les heurtoirs sont des tasseaux en fer, en forme d'arc de cercle, que nous fixons au moyen de vis sur les arbres de couche et sur les excentriques; mais ces derniers, étant en fonte, les portent avec eux. Au moyen de ces tasseaux nous faisons tourner dans un sens ou dans l'autre, les arbres de couche des machines à vapeur. Pour celles dans lesquelles le mouvement de rotation de l'arbre de couche n'est pas susceptible de deux directions opposées, comme par exemple dans les filatures, dans les moulins à farine, dans les papeteries, etc. les excentriques sont arrêtés sur les arbres, au moyen d'argots ou de clavettes, dans une position invariable; position que nous savons trouver d'après ce que nous avons vu (§. 8).

Les conditions indispensables que doivent remplir ces tasseaux l'un sur l'arbre, l'autre sur l'excentrique, sont : leurs longueurs rigoureuses et la position invariable de celui qui est fixé sur l'arbre par rapport à celui de l'excentrique, position sans laquelle la machine ne peut être bien réglée. Pour en déterminer les longueurs, et pour voir de quelle manière ils agissent, nous mettrons la manivelle M (fig. 30) au point mort inférieur, en faisant un angle acb $\left(= \sin. c = \frac{ke}{ce}, (§.8)\right)$,

avec la manivelle *m* du tiroir, comme nous l'avons déjà fait. Ensuite, nous représenterons d'abord *M* par *ac* et *m* par *bc*, les deux manivelles ; puis le contour de l'arbre par *pno*, la bielle d'excentrique par *bd*, et le levier qui fait agir le tiroir par *dso*.

Cela fait, nous concevrons un heurtoir *geon* placé sur le contour du trou *o* de l'excentrique, et saillant de l'une des faces planes de ce dernier, de manière que *cl* étant prolongée de part et d'autre, passera par son milieu ; alors nous aurons l'arc *np* = l'arc *po*, puisque *nu* = *uo* par construction. Enfin, nous concevrons encore un autre heurtoir, fixé sur l'arbre, égal à l'arc *pfgn*, le tout en mouvement, et l'arbre tournant dans le sens de la flèche.

Maintenant, nous remarquons que si pendant le mouvement ascendant ou descendant du piston, nous changeons instantanément l'introduction de la vapeur, (c'est-à-dire, en faisant arriver sur le piston la vapeur de la chaudière par l'orifice qui était ouvert au condenseur), le piston s'arrêtera instantanément pour reprendre son mouvement, mais dans une direction contraire à celle qu'il avait auparavant. Il emportera avec lui la manivelle, celle-ci à son tour tournera dans une direction contraire à la précédente, entraînera avec elle le heurtoir *ngfp* de l'arbre, en le séparant du heurtoir de l'excentrique, jusqu'à ce que la droite *fp* soit arrivée contre la droite *eo* ; pendant ce temps l'excentrique et sa bielle sont restés immobiles. Nous devons remarquer que l'excentrique peut, sans difficulté, tourner sur l'arbre ; et qu'il n'y a que le heurtoir qui le fixe

en sa position. (L'excentrique mobile comme celui-ci est toujours mis en équilibre par un contrepoids qui est placé du côté opposé à son grand rayon d'excentricité.) Mais quand nous avons donné ce mouvement instantané et rétrograde au tiroir, pour changer la direction de l'arbre, nous avions préalablement débrayé la bielle *bd* du levier *dso*, et pendant ce mouvement le point *d* du levier est passé immanquablement en *v*.

Quand la droite *fp* est contre *eo*, la manivelle *ac* est passée en *ca'*, (nous supposons que, la machine en marchant très-lentement, nous ayons le temps d'observer dans sa révolution les différentes positions de la manivelle), sans que l'excentrique et la bielle, comme nous l'avons déjà dit, aient été mis en mouvement; mais le heurtoir de l'arbre, étant arrivé par l'autre côté du heurtoir de l'excentrique, entraîne celui-ci, et par suite la bielle *bd*, dans une direction contraire à celle qu'elle avait auparavant. Pendant ce mouvement l'encoche *d* de cette dernière passant sur le bouton *v*, s'embraye naturellement. Le point *l* ayant parcouru de l'autre côté de la droite *ca* un arc *b'r* égal à *br*, la manivelle du piston doit se trouver sur le prolongement de *ca* mais de *c* en *a"*; et pour que cela ait lieu, il faut que l'angle *gce* ou l'arc *ge* soit égal à l'angle $4 \times c^o$.

En effet, la droite *ca* en passant du point *a* au point *a"*, a décrit une demi-circonférence, (nous supposons que cette droite soit déjà arrivée en *a'*, et le point *f* en *e*, et que, parvenue là, elle s'arrête un moment), et la manivelle étant dans cette nouvelle position *a"*, il faut que le tiroir la précède de l'angle *c*, comme nous

l'avons déjà dit. Par conséquent, en faisant passer le point b en b', le point l passera en g et le point e en l; alors l'arc qui sépare les deux heurtoirs, est représenté par el, et celui-ci est double de l'angle c, puisque c'est la quantité dont le point l a marché. L'angle gcq est égal à l'angle qcl, et l'angle gcl est égal à l'angle lce; donc l'arc ql ou gq est le quart du heurtoir ge de l'excentrique. Ce qui nous donne 4 arcs gl ou gq = 4 angles c, pour l'arc de ce dernier heurtoir. L'angle hcf est égal à l'angle gcq, puisque les points h, f étaient en q, g avant que la droite ca fût dans la position a'; l'angle fck est égal à l'angle qcl par construction, comme opposé par le sommet; les angles hcf, fck sont donc égaux, puisque deux quantités égales à une troisième sont égales entre elles; donc le point b étant passé en b', le point h se trouve en k, et la manivelle M est sur le prolongement de ca'' comme nous l'avons dit.

38. En appelant nop la circonférence ou le contour $2\times\pi\times R'$ de l'arbre, R' son rayon; l la longueur du heurtoir fixé sur la circonférence de l'arbre, l' la longueur de celui qui est sur le contour du trou de l'excentrique, nous aurons :

$$\text{circ. } nop = \text{arc. } np + \text{arc. } po + \text{arc. } on \text{, ou}$$

$$2\times\pi\times R' = 2\times l + l'; \text{ d'où } l = \frac{2\times\pi\times R' - l'}{2}, \quad (1).$$

Le nombre de degrés contenus dans l'arc du heurtoir de l'excentrique, étant égal à celui que contient l'arc ge= 4 angles c, nous pouvons poser la proportion suivante :

$$360^\circ : 2\times\pi\times R' :: 4\times c^\circ : l'; \text{ d'où}$$

$$l' = \frac{2\times\pi\times R'\times 4\times c^\circ}{360^\circ} = \frac{25{,}1328\times R'\times c^\circ}{360^\circ} = \frac{R'\times c^\circ}{863{,}4}, \text{ en rédui-}$$

sant les degrés en minutes, (ce qu'il ne faut pas oublier), et en chassant les facteurs communs; $\pi = 3,1416$. De sorte que, quand nous connaîtrons l'angle c d'avance réduit en minutes de 60 au degré, nous le substituerons dans l'équation $l' = \frac{R' \times c^{\circ}}{863,4}$ (2),

et nous obtiendrons en mètres, la longueur rectifiée du heurtoir, prise du côté du trou de l'excentrique.

En substituant la première valeur $\left(= \frac{2 \times \pi \times R' \times 4 \times c^{\circ}}{360^{\circ}}\right)$ de l' dans l'équation (1), nous avons :

$$l = \frac{2 \times \pi \times R' - \frac{2 \times \pi \times R' \times 4 \times c^{\circ}}{360^{\circ}}}{2} =$$

$$\frac{360^{\circ} \times \pi \times R' - 4 \times c^{\circ} \times \pi \times R'}{360^{\circ}} = \frac{3,1416 \times R' \, (90^{\circ} - c^{\circ})}{90^{\circ}} =$$

$\frac{R' \, (5400 - c^{\circ})}{1718,9}$, l'angle c réduit en minutes.

Ainsi, la longueur en mètre du heurtoir de l'arbre de couche, prise sur le contour de celui-ci, est donnée par l'équation :

$$l = \frac{R' \, (5400 - c^{\circ})}{1718,9}, \ (3)$$

Les nombres de degrés contenus dans chacun de ces arcs, sont donnés par les équations suivantes : pour le premier :

$$l = \frac{360^{\circ} - 4 \times c^{\circ}}{2}, \ (4), \text{ et pour le second :}$$

$$l' = 4 \times c^{\circ}, \ (5).$$

39. Si le tiroir d'une machine à vapeur ne se trouvait pas à détente, c'est-à-dire que la différence entre

les hauteurs de la bande et de l'orifice serait nulle, il faudrait que nous fissions $l+l'=\pi\times R'$; de cette manière, en donnant à volonté une longueur quelconque à l ou à l', mais toujours sensiblement moindre que $\pi\times R'$, nous connaîtrions l'autre heurtoir. Les autres conditions sont comme les précédentes.

40. Les heurtoirs sont fréquemment employés, et d'un usage continuel dans les machines à vapeur qui sont destinées à la navigation. Dans les bateaux les arbres de couche, ou les roues à palettes, peuvent faire une certaine fraction de tour, sans qu'aucun inconvénient ne survienne; mais il n'en est pas de même pour l'exploitation d'une mine ou d'une carrière, où il faut que, quand le vase chargé de matière est arrivé au haut du puits, la machine s'arrête un instant, et qu'ensuite elle puisse partir sans hésitation; ce qui ne peut avoir lieu avec les heurtoirs, puisque le machiniste est obligé, lorsque la machine est munie de ses tasseaux, de faire fonctionner à la main cette dernière; alors il arrive quelquefois que la manœuvre est manquée, d'où suit un retard très-désagréable.

Il est bon de remarquer que ce changement de direction se fait dans les mines à chaque 2 ou 3 minutes environ; ce temps dépend de la distance du fond du puits au lieu du déchargement des matières hors ce dernier.

Pour rendre cette manœuvre plus facile, nous employons dans les mines un levier à trois bras de même longueur (fig. 31), dont deux *ab* et *ao* se trouvent sur une même droite *bc*, qui passe par le centre *a* de rotation de l'arbre du tiroir; laquelle droite est perpen-

diculaire à l'autre bras *ae*, qui fait agir le tiroir à l'aide de bielles. Lorsque la machine fonctionne dans un sens, l'encoche de la bielle d'excentrique est placée sur le bouton *b*, par exemple; mais quand nous voulons la faire fonctionner dans l'autre sens, nous débrayons l'encoche de ce bouton *b*, et nous la rembrayons avec l'autre bouton *c*. Alors, les mouvements du tiroir, quoiqu'ils paraissent être les mêmes, s'exécutent en sens contraire, et la machine est forcée de tourner dans un autre sens.

Il suffit pour voir cela d'examiner avec attention les deux boutons *b* et *c*; et nous voyons clairement que, lorsque nous poussons le bouton *b* suivant le sens de la flèche, le bouton *e* descend, et que, si nous poussons dans le même sens le bouton *c*, le même bouton *e* monte. Il ne s'agit donc que de faire passer la bielle d'excentrique de *b* en *c*, et réciproquement, pour obtenir ce changement instantané. Nous ne parlerons pas du moyen employé pour faire passer la bielle d'un bouton à l'autre, parce que cela nous conduirait trop loin.

41. Ainsi, quand nous voudrons, avec ce genre de levier, arrêter un instant la machine, nous débrayerons la bielle d'excentrique, et nous mettrons le tiroir à sa demi-course, au moyen d'un levier à main; puis, nous fermerons la soupape à gorge, qui admet la vapeur dans la boîte au tiroir. Ensuite, lorsqu'il s'agira de la faire repartir, mais en sens contraire, nous rouvrirons cette soupape, et nous rembrayerons cette bielle avec le bouton qui ne fonctionnait pas précédemment. Si la machine que nous arrêtons un instant, était à condensa-

tion, il faudrait aussi fermer pendant ce temps de repos, le robinet d'injection qui admet l'eau fraîche dans le condenseur.

Lorsque, dans une machine qui fonctionne avec des heurtoirs, nous voulons changer la direction de son mouvement, nous débrayons d'abord la bielle d'excentrique; puis, avec le levier à main, qui est porté par l'arbre du tiroir, nous montons ou nous descendons celui-ci, pour mettre la vapeur, qui arrive de la chaudière, sur la face du piston qui communiquait avec le condenseur. Alors la machine rétrograde; et nous continuons ainsi cette manœuvre du tiroir, jusqu'à ce que l'encoche se présente devant le bouton.

Nous remarquons que le tiroir, lorsqu'il est mu par ce double levier, peut être un peu à détente; mais qu'il ne peut avoir de l'avance ni au condenseur, ni à la chaudière; c'est-à-dire qu'il doit être à sa demi-course, lorsque la manivelle *M* est à l'un de ses points morts. Ce qui veut dire que les deux manivelles *m* et *M* doivent être dans le même plan passant par l'axe de l'arbre de couche; l'excentrique se trouve par cette raison fixé invariablement sur ce dernier.

42. Un moyen très-ingénieux, pour faire changer instantanément de direction le mouvement des machines à vapeur, a été créé et employé dans les locomotives, par M. *Stéphenson*, (habile fabricant de locomotives anglaises). Avec ce nouveau système, quoiqu'un peu compliqué, les tiroirs peuvent avoir de l'avance au condenseur et à la chaudière, et le machiniste peut changer aussi promptement que le ferait la pensée la

direction des pistons, et suspendre même l'action de la vapeur sur ces derniers. La manœuvre, pour effectuer ce changement, est toute simple et facile : il ne s'agit seulement que de tirer ou de pousser le bras d'un levier.

Ce système se compose pour chaque tiroir, de deux excentriques *A* et *B* (fig. 32), l'un pour marcher en avant et l'autre pour aller en arrière. Chacun d'eux peut donc être fixé sur l'arbre *F*, de telle sorte que le tiroir soit à détente, et qu'il ait de l'avance comme nous venons de le dire, pour chacune des deux directions de la locomotive. Cela posé, nous concevrons facilement que la machine tournera dans un sens ou dans l'autre, selon que l'un de ces excentriques fera fonctionner le tiroir. Pour parvenir à mettre facilement ces derniers en mouvement, M. *Stéphenson* a placé d'abord deux bielles *C* et *D*, une sur chacun de ces communicateurs, garnies à leurs extrémités libres de grands V, *xiz* et *vus*, servant à embrasser, dans une position quelconque de ces bielles, le bouton *n* du levier *oKn* du tiroir, dont le centre de rotation est en *K*. Ces V sont munis de petites bielles *uf* et *it*, qui sont fixées par les deux bouts, d'un côté sur ceux-ci et de l'autre sur les leviers coudés *hgf* et *edt*. Ces derniers sont réunis par une seule bielle *lh*, et sont disposés de façon que leurs extrémités *f*, *t* et par suite les points *u* et *i*, parcourent le même chemin, mais en sens contraire ; c'est-à-dire que le point *i* en montant d'une certaine quantité, le point *u* descend de cette même quantité. Les points *g* et *d* sont les points fixes de rotation de

ces deux leviers coudés. Le bouton *n* appartenant au levier du tiroir est double, c'est-à-dire qu'il y a deux boutons *n* et *n'*, l'un à droite et l'autre à gauche du bras de levier *dt* (fig. 33), lesquels boutons ont leur axe sur le même prolongement. Chacune des bielles *C* et *D* (fig. 32), dans leur mouvement de rotation autour de l'arbre de couche *F*, ne peut pas se mouvoir sans rencontrer, au moyen des V, le bouton qui lui correspond; de manière que, si nous faisons agir les leviers coudés *edt*, *fgh*, nous devons voir clairement que les bielles d'excentriques s'embrayeront ou se désembrayeront chacune à son tour, selon que nous désirons faire tourner en avant ou en arrière.

Or, pour manœuvrer facilement ces leviers coudés, l'auteur de ce système a placé au point *e* de l'un de ces leviers, une longue bielle qui prend toute la longueur de la locomotive, laquelle bielle va se fixer en *b* sur un grand levier *cab* du second genre; celui-ci prend son point d'appui *a* sur le bâti de la machine. La puissance étant appliquée en *C* et la résistance en *b*, il en résulte qu'au moindre effort qui est fait par le machiniste, sur le bras *ca* du levier, soit en le poussant, soit en le tirant, les leviers coudés se mettent en mouvement, et par suite les bielles d'excentriques; en sorte que, la direction peut être ainsi changée sans la moindre difficulté. Cependant, le convoi ne rétrograde pas de suite, parce que la force vive, accumulée dans sa masse, ne peut se détruire instantanément, et ce n'est que par degrés de vitesse, allant sensiblement en diminuant jusqu'à zéro, qu'elle s'éteint; alors le convoi prend la direction que les roues de la locomotive lui imposent.

Cette figure nous fait voir que, lorsque le levier *Ca* à main est dans la position extrême *aC*, l'un des excentriques, celui qui fait tourner en avant par exemple, est embrayé avec l'arbre du tiroir, et que, quand ce même levier est dans l'autre position extrême *aC'*, c'est l'autre excentrique qui est embrayé avec cet arbre. Par conséquent, la position moyenne, prise entre les deux extrêmes, tiendra les deux excentriques débrayés, et la distribution de vapeur cessera au même instant que ce levier occupera cette dernière position. Sans entrer dans d'autres détails sur ce système, nous dirons qu'il peut être employé avec succès pour les machines fixes, qui sont placées sur les mines etc., aussi bien que pour les bateaux à vapeur; et qu'il donnerait à ces derniers l'avantage précieux de manœuvrer les machines de la même manière que le gouvernail l'est. Il faudrait pour cela, adopter quelques dispositions particulières, pour certaines pièces du mécanisme de la machine, et le but s'atteindrait facilement.

43. Nous ne parlerons pas du double tiroir qui est employé dans certaines locomotives, parce que M. *Stéphenson*, dans la Victorieuse, en a mis un simple, pareil à celui de la figure 15. Nous ferons remarquer, que c'est d'après un concours composé de plusieurs locomotives, qui ont été faites par d'autres habiles fabricants anglais, que cette machine a mérité ce nom. Le double tiroir est formé de deux autres tiroirs simples, chacun pareil à celui de la figure 14, réunis par un cadre et par une tige en fer taraudée, qui permet à volonté de les éloigner, ou de les rapprocher, l'un de l'autre

selon l'avance (*) qu'il fait donner au tiroir, lorsque la locomotive fonctionne à grande vitesse, 8 à 10 lieues à l'heure environ.

Si nous donnions notre opinion sur l'avantage qu'il résulte, d'ouvrir à la chaudière les orifices du cylindre, avant que le piston ait terminé sa course, nous dirions que cet avantage serait plus réel, pour une machine qui aurait un tiroir fait de telle sorte, que les orifices présentent au condenseur une ouverture double de celle qu'ils montrent à la chaudière. Car dans les grandes vitesses, le but principal du mécanicien doit être de se débarrasser le plus promptement possible de la vapeur qui a travaillé sur les pistons; et l'avance observée dans certaines locomotives, n'a d'autre but que de réaliser l'évacuation instantanée de cette dernière. Mais ici elle se fait avec une perte considérable de travail, puisqu'un certain volume de vapeur, venant de la chaudière, est comprimé dans le cylindre par le piston, à chaque coup simple donné par ce dernier.

La réponse à cela peut être facile, en disant que cette vapeur comprimée sert à anéantir la vitesse acquise par le piston, à la fin de sa course, pour passer du mouvement au repos, et réciproquement. Mais à cela aussi nous pouvons dire que cette prévoyance n'a d'autre but, que d'empêcher la rupture de quelques pièces de mécanisme, qui seraient trop faibles; tandis que, en admettant que ces dernières soient d'une soli-

(*) L'expérience a démontré qu'à une certaine vitesse, (8 à 10 lieues par heure et au-delà), il convient, pour les tiroirs sans avance au condenseur et sans détente, de faire ouvrir à la chaudière l'orifice du cylindre, un peu avant que le piston ait terminé sa course. (*Expériences de M. de Pambour*).

dité incontestable, il vaut mieux, ce nous semble, laisser régulariser le mouvement de la machine par la force vive du convoi, et par la résistance de l'air atmosphérique. Ce qui permettra à la vapeur de développer toute sa puissance motrice. Nous obtiendrons ce résultat en augmentant au condenseur l'ouverture des orifices; et cette augmentation s'obtiendra en suivant le procédé que nous employons (§. 15), pour calculer le tiroir.

44. De la figure 10 nous tirons encore la proportion *ke* ou *cu* : *ce* : : sin. *kce* : sin. *cke*; d'où $cu = ce \times$ sin. *kce*. Ce qui nous fait voir que le chemin rectiligne, parcouru par le point *e*, et par suite par le tiroir, augmente ou diminue comme le sinus de l'angle qui est formé par la manivelle du tiroir, et par la droite qui passe par les points morts de la manivelle du piston.

D'après cela nous voyons que, quand le point *a* (fig. 34), aura parcouru les arcs *ab'*, *ac'*, *ad'*, *ae'* et *ao*, les divers chemins rectilignes, décrits par ce point *a*, dans le sens de *co*, sont *bb'*, *cc'*, *dd'*, *ee'* et *co*, qui sont les sinus de ces arcs, ou des angles que ceux-ci mesurent; mais comme le tiroir parcourt des chemins rectilignes égaux à ces sinus, (nous supposons, comme cela a toujours lieu, que les deux bras du levier qui donne le mouvement au tiroir soient égaux), il nous est toujours possible de connaître la quantité que le tiroir a monté ou descendu, selon que l'angle est aigu ou obtus.

Ces remarques nous feront trouver l'ouverture moyenne des orifices d'un cylindre de machine à va-

peur ; ce que nous dirons pour un orifice et une bande, s'appliquera exactement à l'autre orifice et à l'autre bande. Nous entendons par l'ouverture moyenne de l'orifice, l'ouverture imaginaire de celui-ci constamment la même pendant toute la course du piston, ou de la demi-révolution de la manivelle de ce dernier. Nous parlerons d'abord du tiroir sans détente, puis nous prendrons l'autre.

45. Comme la bande du tiroir glisse constamment devant l'orifice, celui-ci n'a que quelques instants, pendant la durée de la course du piston, sa plus grande ouverture découverte à la vapeur de la chaudière; ce qui nous permet de dire que les orifices d'un cylindre seraient trop faibles, si nous les faisions pareils en surface à celle de la section de la conduite. C'est-à-dire, que chacun des orifices doit être plus grand que l'ouverture de cette dernière.

En effet, lorsque nous calculons l'ouverture d'une conduite de vapeur, nous admettons que celle-ci reste constamment ouverte, de telle sorte, qu'elle puisse laisser écouler un certain volume de vapeur, qui doit emplir le cylindre, dans un temps limité. Or, par la nature du tiroir et d'après son mouvement, l'orifice ne peut avoir son ouverture libre, attendu que le tiroir se balance devant cette dernière, et recouvre, par cette raison, une partie du passage; donc l'orifice serait trop petit. Mais comme la largeur de l'orifice est invariable, une fois la machine établie, nous allons nous occuper de sa hauteur.

Nous avons démontré plus haut (§. 10), que la course du tiroir était égale au double de l'une des bandes.

Cela dit, divisons la circonférence que décrit le point *e* de l'excentrique (fig. 10), en un nombre $2 \times n$ de parties égales; ce nombre doit être divisible par 4, et quatre de ces divisions doivent passer : deux par les points morts de la manivelle du piston, et deux par ceux de la manivelle du tiroir; elles passeront donc par les points *v*, *n* et *i*, *o*.

D'après ce nombre de divisions, l'arc ou l'angle compris entre deux stations, ou entre deux points consécutifs de la division, est égal à $\frac{360}{2\times n}=\frac{180}{n}=A$, A représente le nombre de degrés contenu dans cet angle; de sorte qu'avec celui-ci, nous déterminons tous les sinus des angles qui partent du point *a* et vont se terminer en *k* (fig. 34).

En effet, nous avons d'abord (fig. 35), le sinus de l'arc simple ($=$ sin. A), le sinus de l'arc double ($=$ sin. $2\times A$), le sinus de l'arc triple ($=$ sin. $3\times A$), le sinus de l'arc quadruple ($=$ sin. $4\times A$), et ainsi de suite, jusqu'au sinus de 90 degrés, qui est égal à 1; puis, le sinus de l'arc de 90°, augmenté de l'arc A, ($=$ sin. $(90+A)$), ce sinus est égal à celui qui précède le sinus de 90 degrés, parce que le sinus d'un angle obtus est égal à celui de l'angle qui lui est supplément; ensuite nous avons le sinus de l'angle de 90°, augmenté de $2\times A$, ($=$ sin. $(90°+2\times A)$), et nous continuons de cette manière jusqu'au sinus de 180 degrés, qui est égal à zéro.

Il résulte de cet arrangement, que tous les sinus que nous avons dans le quart de la circonférence, sont doublés, excepté ceux de 90° et de 180°. Or, tous ces

sinus étant multipliés par la longueur de la manivelle du tiroir ou par la hauteur de la bande, ou enfin par la hauteur de l'orifice, nous donnent les différentes hauteurs successives qu'a celui-ci pendant que le tiroir est monté et descendu, et que le piston a parcouru sa course entière. Nous avons donc pour la somme de toutes ces hauteurs :

$$2\times h\times \sin. A + 2\times h\times \sin. (2\times A) + \ldots . 2\times h\times \sin. \left(\frac{n-2}{2}\right) + h\times \sin. 90^{\circ} + h\times \sin. 180.$$

Mettons en facteur commun, en observant que sin. 90° = 1 et sin. 180° = 0, nous trouvons :

$$2\times h \left(\sin. A + \sin. (2\times A) + \ldots . \sin. \left(\frac{n-2}{2}\right) + 0{,}50\right).$$

Si nous divisons cette somme par $n-1$, le nombre de sinus ou de hauteurs différentes que nous supposons à l'orifice, ($n-1$, parce que sin. $180^{\circ}=0$), nous avons évidemment sa hauteur moyenne arithmétique, laquelle nous égalons à H; de manière que nous obtenons :

$$H = \frac{2\times h}{n-1}\left(\sin. A + \sin. (2\times A) + \ldots . \sin. \left(\frac{n-2}{2}\right) + 0{,}50\right).$$

Mais H, la hauteur moyenne de l'orifice, multipliée par la longueur L de celui-ci, nous donne une surface égale à celle, $\pi\times r^2$, de la section transversale de la conduite, nous avons donc :

$$H\times L = \pi\times r^2 \text{ ; d'où } H = \frac{\pi\times r^2}{L}.$$

Substituons à H, dans la formule précédente, sa valeur, et nous obtenons :

$$\frac{\pi \times r^2}{L} = \frac{2 \times h}{n-1}\Big(\sin. A + \sin. (2 \times A) + \sin. (3 \times A) + \ldots . \sin. \left(\frac{n-2}{2}\right) + 0{,}50\Big).$$

Pour rendre cette équation plus simple, égalons à B la somme de tous les sinus qui sont dans la parenthèse. Alors, en tirant la valeur de L, nous avons :

$$L = \frac{(n-1) \times \pi \times r^2}{2 \times h \times B}, (1).$$

46. Maintenant, faisons pour tous les cas possibles de ce tiroir : $2 \times n = 40$; d'où $n = 20$, et $A = \frac{360}{40} = 9°$; puis en tirant, au moyen de ce dernier, la valeur numérique de B, nous obtenons :

$$B = \sin. 9° + \sin. 18° + \sin. 27° + \sin. 36° + \sin. 45° + \sin. 54° + \sin. 63° + \sin. 72° + \sin. 81° + \frac{\sin. 90°}{2} = 0{,}156 + 0{,}3091 + 0{,}454 + 0{,}5878 + 0{,}7071 + 0{,}809 + 0{,}891 + 0{,}9511 + 0{,}9877 + 0{,}5 = 6{,}3529.$$

Remplaçons B dans l'équation 1, (§. 45), par sa valeur numérique, ainsi que les autres lettres dont les valeurs nous sont connues, et nous trouvons :

$$L = \frac{(20-1)\ 3{,}1416 \times r^2}{2 \times 6{,}3529 \times h} = \frac{4{,}7 \times r^2}{h}, (1).$$

La vraie hauteur h de l'orifice nous la prenons à volonté, d'après la course que nous donnons au tiroir, ou d'après les dimensions de l'excentrique. Le rayon r est celui de la conduite, que nous allons bientôt déterminer d'après le volume de vapeur à dépenser.

Prenons un exemple de cette formule 1, en nous donnant le rayon de la conduite et la hauteur de l'orifice :

le premier, nous l'égalons à 0m,05, et la seconde à 0m,045 ; puis nous substituons et nous trouvons :

$$L=\frac{4,7\times(0^m,05)^2}{0^m,045}=0^m,258.$$

Le frottement étant très-grand dans l'excentrique circulaire, il convient de réduire les dimensions de celui-ci autant qu'il nous sera possible ; ce qui nous conduit à diminuer la hauteur de l'orifice pour augmenter sa largeur. Dans tous les cas, nous nous arrangerons de telle sorte que le rapport de deux dimensions de l'orifice, soit entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$, c'est-à-dire, que si nous représentons la hauteur par 1, la largeur sera 4 ou 5 selon le diamètre du cylindre.

47. Actuellement, nous passons au tiroir à détente fixe; pour celui-ci, nous avons vu (§. 6) que les bandes avaient plus de hauteur que les orifices, et que nous étions obligé de faire parcourir à la manivelle du tiroir l'arc *ab* (fig. 35), sans que l'orifice se soit ouvert à la vapeur de la chaudière ; par conséquent, lorsque le point *a* sera parvenu en *e*, l'orifice sera ouvert d'une quantité égale à $de-nb=te=sv$, ou égal à $m\times$ sin. $ace-m\times$sin. $acb=m$ (sin. ace — sin. acb) ; il en sera de même pour chacun des sinus de ces arcs, qui partent du point *a* et vont se serminer en *k* de l'autre côté de *o;* nous aurons donc à retrancher autant de sinus *acb*, (= l'angle d'avance ou sin. *c*), qu'il y aura de sinus à ajouter.

Soit l'angle *acb* d'avance (fig. 36) égal à *c* degrés, *n* le nombre de divisions égales ou d'angles égaux,

que nous supposons dans l'arc *bot*, décrit par la manivelle *m* du tiroir, (*bt* est parallèle à *ak*), et *A* le nombre de degrés compris dans chacun de ces angles égaux.

Le nombre de degrés contenu dans l'angle *A* est donné par la demi-circonférence *aok*, diminuée de $kt + ab = 2 \times ab = 2 \times c$, puis en divisant le reste par *n*; il est donc représenté par :

$$A = \frac{180 - 2 \times c}{n}, \text{ (1)}.$$

La hauteur *us* de l'ouverture qu'aura l'orifice, quand la manivelle *m* aura parcouru l'arc *bu*, est donnée par :

$$mu - db = su, \text{ ou par : sin. } (c + A) - \text{sin. } c;$$

La seconde hauteur *hq*, par :

$$lq - db = hq, \text{ ou par : sin. } (c + 2 \times A) - \text{sin. } c;$$

La troisième hauteur *ng*, par :

$$fn - db = gn, \text{ ou par : sin. } (c + 3 \times A) - \text{sin. } c;$$

et ainsi de suite, en augmentant toujours le nombre de degrés compris dans la parenthèse d'une fois l'angle *A*, jusqu'à l'angle $c + \frac{n-2}{2} \times A$, qui précède l'angle droit. L'ouverture *eo* est donnée par :

$$co - db = eo, \text{ ou par : sin. } 90° - \text{sin. } c.$$

Mais tous ces sinus, hormis *co*, se reproduisent de l'autre côté du point *o*, par les raisons que nous avons données (45); et nous avons aussi dans ce tiroir, une hauteur d'ouverture égale à zéro, laquelle est donnée par :

$$pt - db = o, \text{ ou par : sin. } (c + n \times A) - \text{sin. } c = o.$$

Maintenant, faisons la somme de toutes ces ouvertures, en doublant celles qui se répètent, et nous avons:

$2\times\sin.(c+A)-2\sin.c+2\times\sin.(c+2\times A)-2\sin.c+2\times\sin.(c+3\times A)-2\sin.c+\ldots\ldots2\times\sin.\left(c+\frac{n-2}{2}\times A\right)$
$-2\sin.c+\sin.90-\sin.c,$

Ce qui nous fait voir que nous avons à retrancher autant de sinus d'avance qu'il y a de sinus de pris dans l'arc *bt;* or ce nombre de sinus est donné par $n-1$.

Cela dit, mettons en facteur commun et simplifions, nous obtenons :

$$2\left(\sin.(c+A)+\sin.(c+2\times A)+\sin.(c+3\times A)+\ldots\ldots\sin.(c+\frac{n-2}{2}\times A)+\frac{\sin.90}{2}-\frac{n-1}{2}\times\sin.c\right),\ (2).$$

Divisons par $n-1$, et multiplions par la longueur m de la manivelle du tiroir, pour avoir en mètre la hauteur H moyenne, et nous avons :

$$H=\frac{2\times m}{n-1}\left(\sin.(c+A)+\sin.(c+2\times A)+\sin.(c+3\times A)+\ldots\ldots\sin.(c+\frac{n-2}{2}\times A)+\frac{\sin.90}{2}-\frac{n-1}{2}\times\sin.c\right),\ (3).$$

Enfin, appelons D la quantité négative et B la somme des quantités positives qui sont dans la parenthèse ; alors l'équation (3) devient :

$$H=\frac{2\times m}{n-1}(B-D),\ (4).$$

48. La largeur de l'orifice étant toujours L, nous avons encore :

$$H\times L=\pi\times r^2,\ \text{d'où}\ H=\frac{\pi\times r^2}{L};$$

et en substituant dans la précédente (4,) nous obtenons:

$$\frac{\pi\times r^2}{L}=\frac{2\times m}{n-1}(B-D);\ \text{d'où}$$

$$L=\frac{\pi\times r^2}{\frac{2\times m}{n-1}(B-D)}=\frac{(n-1)\ \pi\times r^2}{2\times m\,(B-D)},\ (1).$$

Nous emploierons cette formule pour les détentes dont le volume introduit ne sera jamais moindre que les $\frac{2}{3}$ du volume détendu ; parce que, dans le cas contraire, nous ne pouvons plus employer l'excentrique circulaire.

Actuellement prenons un exemple, et supposons que l'angle d'avance $c = 30$ degrés et $n = 14$; nous trouvons, en substituant dans la formule 1, (§. 47) :

$$A = \frac{180° - 60°}{14} = 8°, 34', 2'' \text{ environ.}$$

Substituons cette valeur dans la parenthèse de la formule 2, (§. 47), pour obtenir celles de B et de D, et nous avons pour la première :

$B = \sin. 38° 34' + \sin. 47° 8' + \sin. 55° 42' + \sin. 64° 36' + \sin. 72° 50' + \sin. 81° 24' + \frac{\sin. 90°}{2} = 0,6234 + 0,733 + 0,8261 + 0,9033 + 0,9554 + 0,9888 + 0,5 = 5,5305$; et pour la seconde :

$$D = \frac{14-1}{2} \sin. 30° = 6,5 \times 0,5 = 3,25.$$

Substituons ces deux dernières valeurs, ainsi que celles de n et de π dans l'équation 1, nous obtenons :

$$L = \frac{(14-1)\ 3,1416 \times r^2}{2 \times m\ (5,53 - 3,25)} = \frac{8,956 \times r^2}{m},\ (2).$$

Faisons $r = 0^m,05$, le rayon de la conduite, et $m = 0^m,09$ la longueur de la manivelle du tiroir ; puis, donnons à l'orifice $0^m,045$ de hauteur $= h$, et nous trouvons en définitive :

$$L = \frac{8,956 \times 0,0025}{0,09} = 0^m,248.$$

En comparant maintenant la surface de la section transversale de la conduite à celle de l'orifice, nous voyons, pour l'exemple que nous avons pris, que cette dernière contient 1,43 fois la première. Cela nous donne une idée de l'utilité de calculer les orifices d'après la conduite et d'après la bande du tiroir.

49. Pour faciliter le calcul des orifices, et pour avoir toutes les données nécessaires, nous avons calculé deux tableaux : le premier, au moyen des équations 1 (§. 8) et 3 (§. 13), et le deuxième, à l'aide des formules 1 et 2 (§. 47). Le premier donne :

La *première colonne*, la hauteur de la bande, prise pour unité, par rapport à celle de l'orifice ;

La *deuxième*, la hauteur de l'orifice, laquelle contient moins ou autant de parties égales, (selon la détente que nous voulons), que la hauteur de la bande prise pour unité en renferme ;

La *troisième*, donne la différence de ces deux hauteurs ;

La *quatrième*, le rapport de cette différence à la hauteur de la bande ; elle représente aussi la valeur numérique du sinus de l'angle d'avance ;

La *cinquième*, le nombre de degrés que contient l'angle d'avance ;

La *sixième* représente le volume pris pour unité, que parcourt le piston pendant que le cylindre ne reçoit plus de vapeur ;

La *septième*, le volume que parcourt le piston dans

une course entière, lequel volume est composé d'un certain nombre de parties égales, dont chacune est égale à l'unité de volume de la *sixième colonne*.

La *huitième colonne*, donne le rapport de ces deux volumes.

C'est au moyen de cette dernière colonne, que nous obtenons l'angle d'avance correspondant à l'économie que nous voulons obtenir d'une machine.

Nota. Lorsque le tiroir aura un mouvement intermittent et instantané, quoique dans ce cas l'orifice puisse être égal à la conduite, nous emploierons toujours la formule 1 (§. 46).



TABLEAU Ier.

DIFFÉRENCE DES HAUTEURS. *b* représente celle de la bande, et *o* celle de l'orifice. HAUTEUR de la bande. — HAUTEUR de l'orifice. — DIFFÉRENCE des hauteurs.	VALEUR DU SINUS de l'angle d'avance, d'après la fig. 10.	VALEUR EN DEGRÉS de l'angle d'avance, d'après la fig. 10.	Volume parcouru par le piston, pendant tout le temps que l'introduction de vapeur a cessé.	Volume parcouru par le piston, pendant une course entière.	RAPPORT DE CES DEUX VOLUMES.
$b - o =$	$\frac{b-o}{b}$	"		N	•
1 — 1 = 0	$\frac{1-1}{1}$	0° 0'	1	1	$\frac{1}{1}$
1 — 0,95 = 0,05	$\frac{1-,095}{1}$	2° 52'	1	400	$\frac{1}{400}$
1 — 0,90 = 0,10	$\frac{1-0,90}{1}$	5° 45'	1	99	$\frac{1}{99}$
1 — 0,85 = 0,15	$\frac{1-0,85}{1}$	8° 38'	1	44,5	$\frac{1}{44,5}$
1 — 0,80 = 0,20	$\frac{1-0,80}{1}$	11° 32'	1	25	$\frac{1}{25}$
1 — 0,75 = 0,25	$\frac{1-0,75}{1}$	14° 28'	1	16	$\frac{1}{16}$
1 — 0,70 = 0,30	$\frac{1-0,70}{1}$	17° 29'	1	10	$\frac{1}{10}$
1 — 0,65 = 0,45	$\frac{1-0,65}{1}$	20° 29'	1	8,1	$\frac{1}{8,1}$
1 — 0,60 = 0,40	$\frac{1-0,60}{1}$	23° 35'	1	6,4	$\frac{1}{6,4}$
1 — 0,55 = 0,45	$\frac{1-0,55}{1}$	26° 45'	1	4,9	$\frac{1}{4,9}$
1 — 0,50 = 0,50	$\frac{1-0,50}{1}$	30° 0'	1	4	$\frac{1}{4}$
1 — 0,45 = 0,55	$\frac{1-0,45}{1}$	33° 22'	1	3,3	$\frac{1}{3,3}$
1 — 0,40 = 0,60	$\frac{1-0,40}{1}$	36° 52'	1	2,8	$\frac{1}{2,8}$
1 — 0,35 = 0,65	$\frac{1-0,35}{1}$	40° 32'	1	2,3	$\frac{1}{2,3}$
1 — 0,30 = 0,70	$\frac{1-0,30}{1}$	44° 26'	1	2	$\frac{1}{2}$
1 — 0,25 = 0,75	$\frac{1-0,25}{1}$	48° 35'	1	1,77	$\frac{1}{1,77}$

50. Le second tableau (2) donne :

La *première colonne*, l'angle d'avance correspondant à l'économie que nous désirons obtenir à l'aide de la distribution; la 8me colonne du tableau 1er, nous donne le rapport de l'économie à la dépense de vapeur qui se ferait, si le cylindre recevait cette dernière pendant toute la course du piston.

La *seconde*, nous donne la valeur numérique de B, correspondant à l'angle d'avance, que nous obtenons d'après l'économie.

La *troisième*, donne la valeur numérique de D, correspondant à celle de B.

La *quatrième*, la valeur numérique que nous avons donnée à n, suivant l'étendue de l'arc que nous avions à diviser.

Nota. Les valeurs numériques de B et de D s'obtiennent à l'aide de la formule 2 (§. 47), mais en prenant séparément les valeurs positives pour B et négatives pour D, qui sont dans la grande parenthèse, et en faisant abstraction du coefficient 2.

TABLEAU II.

Angle d'avance.	VALEUR DE B.	VALEUR DE D.	Valeur de n.
0° 0'	$B = 6,3529$	$D = 0,00$	$n = 20$
2° 52'	$B = 5,8621$	$D = 0,425$	$n = 18$
5° 45'	$B = 6,0224$	$D = 0,867$	$n = 18$
8° 38'	$B = 6,1745$	$D = 1,276$	$n = 18$
11° 32'	$B = 5,6104$	$D = 1,500$	$n = 16$
14° 28'	$B = 5,7359$	$D = 1,873$	$n = 16$
17° 29'	$B = 5,8664$	$D = 2,253$	$n = 16$
20° 29'	$B = 5,9886$	$D = 2,625$	$n = 16$
23° 35'	$B = 5,341$	$D = 2,6$	$n = 14$
26° 45'	$B = 5,4249$	$D = 2,92$	$n = 14$
30° 0'	$B = 5,5305$	$D = 3,25$	$n = 14$
33° 22'	$B = 5,6289$	$D = 3,57$	$n = 14$
36° 52'	$B = 4,8655$	$D = 3,30$	$n = 12$
40° 32'	$B = 4,9469$	$D = 3,5744$	$n = 12$
44° 26'	$B = 5,031$	$D = 3,85$	$n = 12$
48° 35'	$B = 4,1929$	$D = 3,3741$	$n = 10$

La formule 1, (§. 48), devient générale pour tous les tiroirs, tant pour l'un que pour l'autre, (soit à détente fixe ou sans détente, mais toujours pour ceux qui sont mus par des excentriques circulaires), au moyen du tableau (2), qui nous donne les valeurs de B et de D pour tous les cas que nous avons désignés dans ce tableau. Ainsi, lorsque $D=0$, la manivelle du tiroir est égale à la hauteur de l'orifice; et cette formule 1 (§. 48), devient égale à celle du tiroir sans détente, formule 1

(§. 46). Ce qui doit être, puisque nous faisons passer le sinus de l'angle d'avance par toutes les valeurs, depuis zéro jusqu'à 48° 35'.

51. Pour déterminer la hauteur de la bande du tiroir, quand celle h de l'orifice est donnée, nous représentons par x' cette hauteur de la bande; puis nous prenons, dans le tableau 1 (§. 49), la fraction qui donne le sinus que nous trouvons suivant l'économie demandée; puis, sachant que la différence des deux hauteurs (bande et orifice), doit être $b-o$, nous posons l'équation suivante :

$$\frac{b-o}{b}=\frac{x-'h}{x'}\text{; d'où } x'=\frac{b\times h}{o}, \text{ (1).}$$

Or, les valeurs numériques de b et de o, nous sont données par le tableau 1, lesquelles correspondent à l'angle d'avance, et celle de h, nous la prenons à volonté; donc x' sera connu quand nous mettrons dans cette formule (1), les valeurs numériques des autres lettres.

Il est facile de voir qu'au moyen de ces tableaux et de l'équation 1 (§. 48), nous pourrons toujours déterminer la largeur de l'orifice, lorsque nous connaîtrons le rayon de la conduite et la hauteur de ce dernier, laquelle hauteur nous mettrons à notre guise, mais toujours dans le rapport avec la largeur que nous avons donnée (§. 46).

52. Actuellement, pour faire voir comment nous nous servirons de ces tableaux, nous prendrons quelques exemples, en supposant que nous connaissions les rayons des conduites. Prenons d'abord une ma-

chine, (sans en désigner la force), qui donne $\frac{1}{4}$ d'économie du volume entier d'une course du piston, et qui a une conduite de 0m,04 de rayon. Il s'agit de connaître l'angle d'avance et les dimensions de l'orifice.

Cela dit, nous cherchons dans la 8me colonne du tableau 1 (§. 49) la fraction qui est égale à $\frac{1}{4}$, et sur la même ligne horizontale, nous voyons que l'angle d'avance est de 30 degrés, (dans le cas de fig. 10, voyez §. 81), que la différence entre la hauteur de la bande et celle de l'orifice, est de 0,5, et que le rapport à prendre est $\frac{1-0,5}{1}$; ensuite, nous faisons la hauteur de l'orifice égale à 0,038, et en substituant ces valeurs numériques dans l'équation 1 (§. 51), nous avons :

$$x = \frac{1 \times 0^m,038}{0,5} = 0^m,076,$$

pour la hauteur de la bande du tiroir, ou pour la longueur de sa manivelle; puis, nous cherchons dans le tableau 2 (§. 50), sur la même horizontale où se trouve l'angle d'avance de 30°, et nous trouvons :

$$B = 5,5305,\ D = 3,25 \text{ et } n = 14.$$

Substituons toutes ces valeurs dans l'équation générale 1 (§. 48), et nous trouvons :

$$L = \frac{(14-1)\ 3,1416 \times (0,04)^2}{2 \times 0,076\ (5,53-3,25)} = 0^m,188,$$

pour la largeur de l'orifice dans le sens perpendiculaire à la direction du mouvement du piston. La course du tiroir étant égale au double de l'une de ses bandes, elle sera donc de 2 × 0m,076 = 0m,152.

53. Soit une autre machine dont l'économie doit être de $\frac{1}{3,3}$ du volume entier d'une course du piston ; laquelle a une conduite de $0^m,08$ de rayon. Nous désirons connaître l'angle d'avance, la hauteur de l'une des bandes du tiroir, la course de celui-ci et la largeur de l'orifice.

Pour y parvenir, nous cherchons encore dans la huitième colonne du tableau 1 (§. 49), la fraction $\frac{1}{3,3}$, et nous trouvons, sur la même ligne horizontale, que l'angle d'avance est de 33° 22', (dans le cas de la fig. 10, voyez §. 81 (, que la différence entre les hauteurs de la bande et de l'orifice est de 0,55, et que le rapport à prendre est $\frac{1-0,45}{1}$. Cela posé, faisons la hauteur de l'orifice égale à $0^m,08$, et substituons ces quantités dans la formule 1 (§. 51), nous avons :

$$x' = \frac{1 \times 0^m,08}{0,45} = 0^m,1777,$$

pour la hauteur de la bande du tiroir, ou pour la longueur de sa manivelle ; puis, cherchons encore dans le tableau 2 (§. 50), sur la même ligne horizontale où se trouve l'angle d'avance de 33° 22', et nous trouvons :

$$B = 5,628,\ D = 3,57 \text{ et } n = 14.$$

Substituons toutes ces valeurs numériques dans l'équation générale 1 (§. 48), et nous obtenons :

$$L = \frac{(14-1)\ 3,1416\ (0,08)^2}{2 \times 0^m,177\ (5,628-3,57)} = 0^m,38 \text{ environ},$$

pour la largeur de l'orifice. La course du tiroir étant

égale au double de l'une des bandes, elle est donc de 0m,354.

54. Dans la formule 1 (§. 48), qui nous fait trouver la largeur de l'orifice, se trouve, comme quantité connue, le rayon r de la section transversale de la conduite, qui mène la vapeur à la boîte qui renferme le tiroir. Il est donc très-urgent de savoir obtenir ce rayon pour compléter ce que nous avons dit sur les orifices.

Dans une machine à vapeur, le piston se meut toujours sous une pression égale, à peu près, à celle de la vapeur qui est produite dans la chaudière, lorsque cette machine fonctionne; cette pression est indiquée par le manomètre qui est fixé sur cette chaudière ou sur la conduite.

Ces deux pressions sont nécessairement un peu différentes, sinon nous ne pourrions admettre l'écoulement de la vapeur dans le cylindre. L'illustre académicien, M. Poncelet, a trouvé qu'il y aurait de graves inconvénients si la différence excédait $\frac{1}{20}$ de la pression de la vapeur dans la chaudière. Ce qui nous permet, en adoptant sans réserve cette limite, de déterminer les différentes vitesses que prend la vapeur sous les différentes pressions qui ont lieu dans les chaudières, depuis 1 jusqu'à 6 atmosphères; auxquelles pressions les machines en usage fonctionnent. Mais avant de donner ces vitesses, nous déterminerons, en suivant dans la mécanique industrielle, le savant précité, les causes qui ralentissent le mouvement de la vapeur en traversant la conduite.

55. Pour former un tableau des différentes vitesses de la vapeur, qui proviennent de la variation de la pression de cette dernière, employée dans les différents systèmes, nous ferons quelques suppositions admissibles, afin d'avoir une moyenne pour tous les cas possibles.

1° Nous admettrons que les conduites ont moyennement 8 mètres de longueur.

2° Qu'elles ont 3 coudes arrondis à angle droit.

3° Enfin, que le rayon moyen entre toutes les conduites, est de $0^m,05$. Ces données nous permettront de simplifier le calcul, sans cependant nous écarter beaucoup de la vérité. Nous appellerons l, $(= 8^m)$, la longueur de la conduite et r, $(= 0^m,05)$, son rayon.

Le coefficient m'' de contraction de la veine fluide, en entrant dans la conduite ou en traversant le registre, a été trouvé, par les savants qui se sont occupés de ce sujet, égal à 0,61 pour les gaz et les vapeurs seulement.

Les effets nuisibles à l'écoulement, les voici :

1° La contraction à l'entrée de la conduite ;

2° Les coudes à angle droit, dont le nombre est égal à 3 ;

3° L'étranglement au registre ou soupape à gorge ;

4° La longueur de la conduite, que nous égalerons à 8^m ;

5° Enfin, l'évasement avec contraction dans la boîte au tiroir, lorsque la vapeur arrive dans celle-ci pour traverser l'orifice. Pour obtenir la valeur de ces 5 effets nuisibles, qui ont généralement lieu dans toutes les machines à vapeur, nous allons les prendre un à un ;

et nous ferons en sorte de simplifier le résultat autant qu'il nous sera possible, afin que nous n'ayons pas une équation trop compliquée.

56. Pour le premier cas, soit S (fig. 38), la surface d'une conduite à l'endroit d'où sort la vapeur, à une petite distance de la chaudière, et V la vitesse inconnue de cette dernière à cet endroit ; S'' la surface de la même conduite à son entrée, V' la vitesse à cette entrée ; nous observons que la conduite de la vapeur d'une machine doit avoir partout le même diamètre; par conséquent $S''=S$. La dépense à la partie contractée est : $m''\times S''\times V'$, ou $0{,}61\times S\times V'$, en substituant les quantités connues ; celle qui a lieu à la sortie est naturellement la même, nous avons donc :

$$0{,}61\ S.V'=S.V\text{; d'où}$$

$$V'=\frac{S\times V}{0{,}61\times S}=\frac{V}{0{,}61},$$

pour la vitesse à la partie contractée. Retranchons de celle-ci la vitesse de sortie, et nous aurons :

$$V'-V=\frac{V}{0{,}61}-V=V\left(\frac{1}{0{,}61}-1\right)=0{,}6393\times V.$$

Le carré de cette vitesse, multiplié par la masse de la vapeur qui s'écoule dans une seconde, nous donne :

$$\frac{q}{g}\left(0{,}6393\times V\right)^2=0{,}409\times V^2\times\frac{q}{g},\ (1),$$

pour la perte de force vive (*) occasionnée par la contraction à l'entrée de la conduite.

(*) La force vive s'obtient en divisant le poids q de la vapeur par g ($=9{,}81$) la gravité, et en multipliant le quotient par le carré de la vitesse V de cette vapeur ; $\frac{q}{g}$ se nomme la masse.

Pour le second cas, nous trouvons dans les expériences de l'illustre expérimentateur M. Dubuat, que la perte de force vive occasionnée par un coude à angle droit (fig. 39), arrondi en arc de cercle dont le rayon est r, est donnée par la formule :

$$\frac{q}{g} V^2 \left(0,0039 + 0,0186 \times r\right) \frac{t'}{r},$$

t' étant la longueur de l'arc moyen du coude et r le rayon de la conduite. Comme t' dans ce cas est égal à $\frac{2 \cdot \pi \cdot r}{4} = \frac{\pi \cdot r}{2}$, et que par nos suppositions nous avons trois coudes et $r = 0^m,05$, nous obtenons en substituant :

$$\frac{q}{g} V^2 \left(0,0039 + 0,0186 \times 0,05\right) 3 \times \frac{3,1416}{2} =$$

$$0,33 \times V^2 \times \frac{q}{g}, \ (2).$$

Pour le troisième cas, nous opérons d'après la figure 41 qui représente le registre, ou la soupape à gorge, que nous plaçons sur la conduite, à peu de distance de la boîte au tiroir; laquelle figure nous fera comprendre combien cet organe mécanique doit avoir d'influence sur l'écoulement de la vapeur.

Lorsque le registre est fermé (fig. 40), la machine est arrêtée, et la vapeur se tient en *A* dans le tuyau contre le registre, comme l'indique cette figure. Mais quand il est ouvert complètement (fig. 41), la machine travaille ou elle est prête à travailler à son *maximum* d'effet, si toutefois la tension de la vapeur est aussi à son *maximum*. Celle-ci en traversant le passage *a'*, est obligée de se contracter, puisque la section *a'* est naturellement moindre que la section *a* ou *b*. La vapeur

qui passe en a' est forcée de sortir par a, il y a donc égalité entre ce qui passe dans le premier et dans le second; et en appelant V' la vitesse en a', V celle en a et m'' (=0,61) le coefficient de contraction, nous avons :

$$m'' \times V' \times a' = V \times a \text{; d'où } V' = \frac{a \times V}{a' \times m''}.$$

Or, comme nous pouvons, dans les constructions, faire $a' = \frac{2}{3} \times a$, nous obtenons en substituant :

$$V' = \frac{a \times V}{\frac{2 \times a}{3} + 0{,}61} = \frac{3 \times V}{1{,}22} = 2{,}459 \times V.$$

Retranchons de cette vitesse celle V, et nous avons

$$V' - V = 2{,}459 \times V - V = V\,(2{,}459 - 1) = 1{,}459\ V;$$

le carré de cette dernière, multiplié par la masse de la vapeur écoulée dans une seconde, nous donne :

$$\frac{q}{g}(1{,}459)^2 \times V^2 = 2{,}129 \times V^2 \times \frac{q}{g}, \quad (3)$$

pour la force vive perdue.

Pour le quatrième cas nous avons (fig. 42), d'après les expériences de plusieurs savants, la formule, pour la perte de force vive :

$$2 \times V^2 \times \frac{q}{g} \times \frac{e \times l \times c}{u},$$

dans laquelle e est un coefficient qu'ils ont trouvé pour les gaz et les vapeurs, égal à 0,00324; l (=8m) représente la longueur développée de la conduite, c le périmètre intérieur de cette dernière, lequel est égal à $2 \times \pi \times r = 2 \times 3{,}1416 \times 0^m{,}05 = 0{,}3142$, et u est la surface de la section transversale de la conduite, laquelle surface est égale à $\pi \times r^2 = 3{,}1416 \times (0^m{,}05)^2 = 0{,}007854$.

En substituant toutes ces valeurs numériques dans la formule précédente, nous trouvons :

$$\frac{2\times 0{,}00324\times 0{,}31416\times 8^{m}}{0{,}007854}\times V^{2}\times\frac{q}{g}=2{,}073\times V^{2}\times\frac{q}{g},\ (4)$$

Et enfin pour le cinquième cas, nous opérons d'après la figure 43, qui nous fait voir comment la vapeur s'introduit dans le cylindre *D*. Nous remarquons que la vapeur traverse la section *A* de la conduite pour tomber dans la boîte *B* du tiroir, que cette section est beaucoup plus petite que celle de cette dernière, que le fluide frappe sur le tiroir et qu'ensuite il est obligé de changer de direction pour entrer et se contracter dans l'orifice *C*.

En comparant les volumes de vapeur écoulés par les trois sections *A*, *B* et *C*, l'ouverture moyenne de l'orifice (§.44), nous pourrons déterminer la force vive perdue par l'effet de cet évasement. En effet, appelons V'' la vitesse en *A*, V' celle en *B*, et *V* la vitesse en *C*; la vapeur qui passe en *C* dans une seconde, étant la même que celle qui est passée dans le même temps par la section *A*, nous donne, en appelant toujours m'' le coefficient de contraction :

$$V''\times A=m''\times V\times C;\ \text{d'où}\ V''=\frac{C}{A}\times m''\times V.$$

Le même raisonnement s'applique à la section *B*, par rapport à l'orifice; de sorte que nous avons pour celle-ci :

$$V'\times B=m''\times V\times C;\ \text{d'où}\ V'=\frac{C}{B}\times m''\times V.$$

En retranchant cette dernière vitesse de la première V'', nous obtenons :

$$V'' - V' = \frac{C}{A} \times m'' \times V - \frac{C}{B} \times m'' \times V = V\left(\frac{C}{A} \times m'' - \frac{C}{B} \times m''\right);$$

le carré de cette différence, multiplié par la masse de la vapeur écoulée dans une seconde, nous donne :

$$\left(\frac{C}{A} \times m'' - \frac{C}{B} \times m''\right)^2 \times V^2 \times \frac{q}{g},$$

pour la force vive perdue. Mais, si nous remarquons que $C = A$, que $m'' = 0{,}61$, et qu'il nous est toujours possible de faire $B = 10 \times A$, nous avons, en substitant :

$$\left(\frac{A}{A} \times 0{,}61 - \frac{A}{10 \times A} \times 0{,}61\right)^2 \times V^2 \times \frac{q}{g} =$$

$$0{,}301 \times V^2 \times \frac{q}{g}, \ (5).$$

Maintenant faisons la somme de ces cinq effets nuisibles à l'écoulement de la vapeur, et nous trouvons :

$$0{,}409 \times V^2 \times \frac{q}{g} + 0{,}33 \times V^2 \times \frac{q}{g} + 2{,}129 \times V^2 \times \frac{q}{g} +$$

$$2{,}073 \times V^2 \times \frac{q}{g} + 0{,}301 \times V^2 \times \frac{q}{g} =$$

$$(0{,}409 + 0{,}33 + 2{,}129 + 2{,}073 + 0{,}301)\ V^2\ \frac{q}{g} =$$

$$5{,}242 \times V^2 \times \frac{q}{g},$$

pour la perte totale de force vive.

57. Cela posé, remarquons que $\frac{q}{g} \times V^2$ est la force vive qui reste à la vapeur en arrivant dans le cylindre, et que $2 \times q \times \frac{h}{20}$ est la force vive totale qu'elle a en partant de la chaudière ; q est le poids de la vapeur tombée dans une seconde de la hauteur $\frac{h}{20}$. Ensuite, retran-

chons de cette dernière la somme de toutes les pertes de force vive, et nous avons :

$$V^2 \times \frac{q}{g} = 2 \times q \frac{h}{20} - 5,242 \times V^2 \times \frac{q}{g}.$$

Multiplions les deux membres par g (*) ($= 9,81$), et divisons-les par q, le poids de vapeur écoulée dans une seconde, nous obtenons :

$$V^2 = 2 \times g \times \frac{h}{20} - 5,242 \times V^2;$$

en transposant, et en mettant en facteur commun, nous trouvons :

$$V^2 (5,242+1) = 2 \times g \times \frac{h}{20}; \text{ d'où } V^2 = \frac{2 \times g \times h}{6,242 \times 20}.$$

Extrayons la racine carrée des deux membres, et nous avons en définitive :

$$V = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{6,242 \times 20}} = \sqrt{\frac{2 \times 9,81}{6,242 \times 20} \times h}.$$

Mais h représente la hauteur de la colonne de vapeur qui presse intérieurement les parois de la chaudière, et est égale à $\frac{P \times S'}{d}$; car P étant la pression de la vapeur sur l'unité S' de surface, et d la densité de cette vapeur, nous avons la hauteur de cette colonne en divisant le produit $P \times S'$ par d. De sorte qu'en remplaçant h par sa valeur, nous avons :

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 9,81}{20 \times 6,242} \times \frac{P \times S'}{d}} = \sqrt{\frac{19,62 \times 10000}{20 \times 6,242} \times \frac{P}{d}} =$$

$$35,7 \sqrt{\frac{P}{d}}, (1).$$

(*) g la vitesse que les corps graves acquièrent dans le vide à la fin de la première seconde de leur chute.

S' représente la surface du mètre carré égale à 10000 centimètres carrés; nous prenons ce nombre parce que la pression P en kilogrammes est donnée par centimètres carrés.

58. C'est avec la formule 1 (§. 57) que nous formons le tableau suivant des différentes vitesses, que peut prendre la vapeur dans les conduites.

Pour une pression de 1 atmosphère nous avons $P = 1{,}033$ et $d = 0{,}58955$; de manière qu'en substituant dans cette formule, nous obtenons :

$$V = 35{,}7\sqrt{\frac{1{,}033}{0{,}58955}} = 47{,}25$$

pour la vitesse.

Pour une autre pression de 1,25 atmosphère, nous avons $P = 1{,}291$ et $d = 0{,}72931$, et en remplaçant nous trouvons :

$$V = 35{,}7\sqrt{\frac{1{,}291}{0{,}72331}} = 47{,}67$$

pour la vitesse qu'aurait la vapeur en arrivant dans le cylindre; et en continuant ainsi nous obtiendrons la vitesse que nous désirons.

Nota. La cinquième colonne du tableau suivant nous fait voir clairement que nous pourrions prendre, sans erreur sensible, le nombre 40^{m},28 pour la vitesse unique que nous supposerions à la vapeur, (pour toutes les pressions), lorsqu'elle entrerait dans le cylindre d'une machine à vapeur.

TABLEAU III.

TEMPÉRATURE de la vapeur en degrés centigrades.	PRESSION de la vapeur en atmosphères.	DENSITÉ par rapport à l'eau, d'un mètre cube de vapeur.	PRESSION de la vapeur en kilog. par centimètre carré.	VITESSE de la vapeur par seconde, à son entrée dans le cylindre.
DEGRÉS.				MÈTRES.
100	1	0,58955	1,033	47,25
106,6	1,25	0,72391	1,291	47,67
112,4	1,50	0,85539	1,549	48,04
117,1	1,75	0,98324	1,807	48,40
121,55	2,00	1,11652	2,066	48,60
125,5	2,25	1,23923	2,324	48,89
128,85	2,50	1,36636	2,582	49,07
132,15	2,75	1,49056	2,840	49,28
135,	3,00	1,61453	3,099	49,46
137,7	3,25	1,73739	3,357	49,62
140,35	3,50	1,85886	3,615	49,79
142,7	3,75	1,98020	3,873	49,92
144,95	4,00	2,10067	4,132	50,07
146,76	4,25	2,22731	4,390	50,12
149,15	4,50	2,33938	4,648	50,32
151,15	4,75	2,45763	4,906	50.44
153,3	5,00	2,57363	5,165	50,66
155	5,25	2,68956	5,423	50,70
156,7	5,50	2,80826	5,681	50,79
158,3	5,75	2,92485	5,939	50,87
160	6,00	3,04651	6,198	50,93

59. La vitesse de la vapeur étant toujours représentée par V, et se trouvant déterminée pour tous les cas, nous pouvons obtenir le rayon de la conduite, en fonction du volume Q de vapeur dépensée dans une seconde par une machine à vapeur ; car nous avons :

$$Q = V \times \pi \times r^2; \text{ d'où } r^2 = \frac{Q}{V \times \pi},$$

et en extrayant la racine carrée, nous trouvons :

$$r = \sqrt{\frac{Q}{V \times \pi}}, (1).$$

Ainsi, Q étant connu, π égalant 3,1416, et V étant donné par le tableau 3, d'après la pression à laquelle la machine doit fonctionner, nous sommes toujours à même d'obtenir la valeur numérique du rayon de la conduite. Nous avons donc encore à déterminer le volume Q de vapeur dépensée dans une seconde, par une machine à vapeur quelconque.

60. Le volume Q de la vapeur que doit employer une machine de la force pratique T, exprimée en chevaux, chacun de 75 kilogrammètres par seconde, s'obtient facilement en appliquant un grand principe sur les gaz, que M. Poncelet a démontré. Principe qui consiste en ce que :

« *Des quantités de travail totales, développées par un même volume de différents gaz, sous une tension donnée, sont aussi les mêmes pour des détentes égales de ces gaz, quelle que soit d'ailleurs la manière dont s'opère mécaniquement cette détente, et pourvu seulement que les circonstances restent semblables sous tous les autres rapports.* »

Ce savant démontre ce principe au moyen de deux cylindres munis de pistons, de différents diamètres, qui cèdent graduellement sous l'action de la vapeur; lesquels cylindres ont aussi des longueurs différentes, mais de telle sorte que celui qui a le plus petit diamètre, a une longueur beaucoup plus grande que l'autre; et en employant deux gaz ou deux vapeurs, dont l'une

doit agir sur le plus grand piston et l'autre sur le petit.

La vapeur qui agit sur celui-ci a même volume que celle qui pousse celui-là ; et leur tension et leur détente sont aussi les mêmes dans chacun des cas; c'est-à-dire qu'elles ont chacune le même nombre d'atmosphères de pression au commencement de la détente ; et que si le volume de l'une en se détendant devient double, triple, quadruple, etc. le volume de l'autre devient aussi en se détendant, double, triple, quadruple, etc. C'est avec ces considérations et au moyen de la méthode de Thomas Simpson, qui sert à déterminer une surface renfermée entre une courbe et une droite ; que M. Poncelet démontre que le travail total produit dans le long cylindre, est au travail total produit dans le court, comme le volume qui mesure l'augmentation après la détente dans le premier multiplié par la pression première, est au produit du volume qui mesure l'augmentation après détente dans le second multiplié aussi par la première pression.

Or comme ces pressions, par hypothèse, sont égales et que les augmentations de volume ont été les mêmes ; il en résulte que le travail total de l'une des vapeurs, est égal au travail total de l'autre.

De ce principe démontré, ce savant en conclut deux autres : d'abord la réciproque qui se prouverait de la même manière, puis le troisième qui est une conséquence de cette démonstration, appuyée sur d'autres faits qui se trouvent dans le même ouvrage ; ce dernier principe le voici :

« *Si deux gaz ou deux vapeurs prises à des ten-*

sions différentes, sont comprimées ou détendues d'une même fraction de leur volume primitif, les quantités de travail développées contre la résistance, ou consommées par la puissance, sont directement entre elles comme le produit de ces tensions et de ces volumes. »

61. Ainsi, d'après ce dernier principe, si nous avions un tableau qui nous donnerait dans une colonne toutes les détentes que peut produire un mètre cube de vapeur pris à la pression atmosphérique, et dans une autre colonne le travail total tant en plein qu'à détente, se trouvant sur une même ligne horizontale correspondante à la détente qui l'aurait produit, nous serions à même de déterminer le volume Q de vapeur dépensée par une machine, en fonction de ce travail produit par un mètre cube de vapeur à une pression de 1 atmosphère.

Ce tableau a été calculé et donné par cet illustre académicien, en voici une partie.

« *TABLEAU* (4) *des quantités de travail totales produites, sous différentes détentes, par* 1 *mètre cube de vapeur d'eau, prise à la tension de* 1 *atmosphère.* »

VOLUME après la détente.	Quantité de travail correspondante.	VOLUME après la détente.	Quantité de travail correspondante.	VOLUME après la détente.	Quantité de travail correspondante.
m. cubes.	kilogramètres	m. cubes.	kilogramètres	m. cubes.	kilogramètres
1,00	10333	1,45	14173	3,20	22353
1,01	10436	1,50	14523	3,30	22671
1,02	10538	1,55	14862	3 40	22979
1,03	10639	1,60	15190	3,50	23279
1,04	10739	1,65	15508	3,60	23570
1,05	10837	1,70	15816	3,70	23853
1,06	10935	1,75	16116	3,80	24128
1,07	11032	1,80	16407	3,90	24397
1,08	11129	1,85	16690	4,00	24658
1,09	11224	1,90	16966	4,10	24914
1,10	11318	1,95	17234	4,20	25163
1,11	11412	2,00	17496	4,30	25406
1,12	11504	2,05	17751	4,40	25643
1,13	11596	2,10	18000	4,50	25875
1,14	11687	2,15	18243	4,60	26103
1,15	11778	2,20	18481	4,70	26325
1,16	11867	2,25	18713	4,80	26542
1,17	11956	2,30	18940	4,90	26755
1,18	12044	2,35	19162	5,00	26964
1,19	12131	2,40	19380	5,10	27169
1,20	12217	2,45	19593	5,20	27369
1,21	12303	2,50	19802	5,30	27566
1,22	12388	2,55	20006	5,40	27759
1,23	12472	2,60	20207	5,50	27949
1,24	12556	2,70	20597	5,60	28135
1,25	12639	2,80	20973	5,70	28318
1,30	13044	2,90	21335	5,80	28498
1,35	13434	3,00	21686	5,90	28674
1,40	13810	3,10	22024	6,00	28848

62. Maintenant appelons U la quantité de travail totale de ce mètre cube de vapeur prise à la pression de 1 atmosphère, (sa valeur numérique nous la trou-

verons toujours dans le tableau (4) suivant la détente); b le nombre de fois que le volume introduit se détent; a la pression de la vapeur dans la chaudière, et s le coefficient de réduction qui convient suivant la force de chaque machine.

Nous avons d'abord, en appliquant ce dernier principe, pour le volume Q de vapeur prise à la tension a, et se détendant b fois de son volume primitif :

$$U : F :: 1^{\text{c}} \times 1^{\text{m}} : Q \times a,$$

F est le travail total du volume Q de vapeur; d'où

$$F = U \times Q \times a, \ (1).$$

Mais pour avoir le travail théorique effectif de la machine, nous devons retrancher à ce dernier (1), le travail qu'oppose le condenseur ou l'atmosphère, selon que c'est une machine à détente avec ou sans condensation. Ce travail s'obtient en multipliant la pression t du condenseur ou de l'atmosphère sur un mètre carré de surface, par le volume d'une course entière du piston. Ce volume est égal à $b \times Q$, et cette pression est $t = 1500^{\text{k}}$ ou 10333^{k}, selon que c'est le condenseur ou l'atmosphère qui agit. De sorte que le travail en question est égal à $t \times b \times Q$, et le travail théorique effectif de cette vapeur est donc :

$$Q \times U \times a - Q \times t \times b = Q \ (U \times a - t \times b), \ (2).$$

Or, ce dernier travail nous est aussi donné par le travail pratique $75 \times T$, divisé par le coefficient s de réduction, qui convient suivant le nombre T de chevaux vapeur, que doit produire l'arbre qui porte le volant de la machine.

En sorte que nous avons :

$$Q\,(U \times a - t \times b) = \frac{75 \times T}{s}; \text{ d'où}$$

$$Q = \frac{75 \times T}{s\,(U \times a - t \times b)}, \ (3).$$

Nous tirons aussi :

$$T = \frac{s \times Q \times (U \times a - t \times b)}{75}, \ (4).$$

63. Ces formules seront générales pour toutes les machines, et pour tous les systèmes, moyennant le tableau 4 (§. 61) qui nous donnera la valeur numérique de U, quand nous connaîtrons le nombre a d'atmosphères, et le nombre b représentant combien de fois le volume Q s'est détendu.

En effet, ce que nous disons pour l'équation 3 (§. 62) s'applique aussi à l'équation 4 du même paragraphe.

1° Quand la machine est à haute pression simplement, nous avons :

$$t = 10333^k, \ U = 10333^k \text{ et } b = 1;$$

et l'équation 3 (§. 62), devient :

$$Q = \frac{75 \times T}{s\,(10333 \times a - 10333 \times 1)}, \text{ ou}$$

$$Q = 0{,}007261 \times \frac{T}{s(a-1)}, \ (1).$$

2° Lorsque la machine est a haute pression et à détente seulement, nous avons $t = 10333^k$, et la formule 3 (§. 62) se trouve peu modifiée, et nous avons :

$$Q = 75 \times \frac{T}{s(U \times a - 10333 \times b)}, \ (2).$$

3° Quand la machine est à basse pression simple-

ment, par conséquent à condensation, nous avons : $t = 1500^{kil.}$, $U = 10333^{km.}$ et $b = 1$,

et la formule 3 (§. 62) devient :

$$Q = \frac{75 \times T}{s(10333 \times a - 1500 \times 1)}, \text{ ou}$$

$$Q = 0{,}05 \times \frac{T}{s\,(6{,}886 \times a - 1)}, \ (3).$$

4° Enfin, lorsque la machine est à haute pression, à détente et à condensation, nous avons $t = 1500^k$, et la formule 3 (§. 62) est peu modifiée, et nous avons :

$$Q = 75\,\frac{T}{s\,(U \times a - 1500 \times b)}, \ (4).$$

Cela posé, prenons un exemple de chacune de ces 4 formules, mais avant, donnons les coefficients de réduction qui conviennent à chaque force et à chaque système. Nous admettrons toujours pour calculer les machines, que celles-ci soient entretenues dans un état ordinaire. Ces coefficients qui ont été obtenus par de nombreuses expériences, nous les trouvons dans l'excellent ouvrage intitulé : *Aide mémoire de mécanique pratique*, par M. Morin, les voici :

64. Pour les machines à basse pression, système de Watt, nous trouvons :

$s = 0{,}42$ pour la force de	4 à 8	chevaux vapeur.
$s = 0{,}47$	10 à 20	*idem.*
$s = 0{,}54$	30 à 50	*idem.*
$s = 0{,}60$	60 à 100	et au-dessus.

65. Pour les machines à détente et à condensation, nous trouvons :

$s = 0{,}30$ pour la force de	4 à 8	chevaux vapeur.
$s = 0{,}35$	10 à 30	*idem.*

$s = 0{,}42$ pour la force de	30 à 40	chevaux vapeur.
$s = 0{,}46$	40 à 50	*idem.*
$s = 0{,}50$	50 à 60	*idem.*
$s = 0{,}53$	60 à 70	*idem.*
$s = 0{,}66$	70 à 80	*idem.*
$s = 0{,}76$	80 à 100	*idem.*

66. Pour celles à haute pression avec détente seulement, nous trouvons :

$s = 0{,}35$ pour toutes les forces.

67. Enfin, pour les machines à haute pression simplement, nous trouvons :

$s = 0{,}40$ pour celles au-dessous de	10 chevaux.
$s = 0{,}44$	10 à 20 *id.*
$s = 0{,}48$	20 à 30 *id.*
$s = 0{,}52$	30 à 40 *id.*
$s = 0{,}56$	40 et au-dessus ;

$s = 0{,}819$ pour le coefficient moyen des locomotives.

68. 1er Exemple. Soit une machine à haute pression de la force pratique $T = 50$ chevaux, fonctionnant avec de la vapeur à $a = 5$ atmosphères de pression dans la chaudière; pour trouver le volume de vapeur qu'il faut à cette force pratique, nous prenons le coefficient $s = 0{,}56$ (§. 67), puis nous substituons dans la formule 1 (§. 63), et nous avons :

$Q = 0{,}007261 \times \frac{54}{0{,}56\,(5-1)} = 0{,}173$ de mètre cube au minimum, ou 173 litres de vapeur par seconde.

2me Exemple. Soit une autre machine à haute pression et à détente, de la force pratique $T = 7{,}6$ chevaux vapeur, fonctionnant avec de la vapeur à $a = 6$ atmosphères de pression dans la chaudière, et la dé-

tente se prolongeant jusqu'à ce que le volume détendu soit sextuple de celui Q introduit; par conséquent celui-là est donné par $6 \times Q$. Pour avoir le volume Q, nous prenons $s=0,35$ (§. 66); et nous remarquons que $b=6$, et que $U=28848$ kilogrammètres, (tableau 4 (§. 61)), correspondant au volume 6 mètres cubes ; ensuite nous substituons toutes ces valeurs numériques dans l'équation 2 (§. 63), et nous avons :

$$Q=75\times\frac{7,6}{0,35(28848\times 6-10333\times 6)}=75\times\frac{7,6}{2,1(28848-10333)}=$$

$0^{mc},0147$ de mètre cube, ou 15 litres environ de vapeur par seconde.

3me Exemple. Soit encore une machine à basse pression sans détente, de la force pratique $T=30$ chevaux vapeur, travaillant avec de la vapeur à $a=1,25$ atmosphère de pression dans la chaudière. Pour déterminer le volume Q, nous prenons $s=0,54$, (§. 64); puis nous substituons ces valeurs numériques dans l'équation 3 (§. 63) et nous avons :

$$Q=0,05\times\frac{30}{0,54\,(6,886\times 1,25-1)}=0,3439 \text{ de mètre cube,}$$

ou 344 litres environ de vapeur par seconde.

4me Exemple. Soit enfin une machine à détente et à condensation, de la force pratique $T=20$ chevaux vapeur, agissant avec de la vapeur, à $a=3,75$ atmosphères, et se détendant de 4 fois son volume primitif Q; le volume détendu sera donc $4\times Q$. Pour trouver celui-là, nous prenons $s=0,35$, (§. 65) et nous remarquons que $b=4$, et que $U=24658$ kilogrammètres, correspondant, dans le tableau 4 (§. 61), au volume de

4 mètres cubes ; ensuite, nous substituons ces valeurs numériques dans l'équation 1 (§. 63), et nous avons :
$Q = 75 \times \frac{20}{0,35\,(24658 \times 3,75 - 1500 \times 4)} = 0,04956$ de mètre cube, ou 50 litres environ par seconde.

69. *Deux autres exemples.* Le premier, sur une locomotive de la force pratique $T = 70$ chevaux vapeur, agissant sans détente avec de la vapeur à $a = 4,5$ atmosphères. Pour obtenir ce volume, nous prenons $s = 0,819$ (§. 67); puis nous substituons ces valeurs numériques dans l'équation 1 (§. 63), et nous trouvons :
$Q = 0,007261 \times \frac{70}{0,819\,(4,5 - 1)} = 0,281$ de mètre cube, ou 281 litres environ de vapeur par seconde. Si nous voulions connaître le nombre de coups simples frappés par l'un des pistons, pendant que la machine dépense cette vapeur, nous nous rappellerions que dans ce genre d'appareil, il y a toujours deux cylindres et deux pistons, qui agissent sur des manivelles conjuguées, et que ces derniers ont généralement une course de $0^m,45$ environ et un diamètre de $0^m,38$; en sorte que, le volume engendré par les deux pistons dans une course simple, étant de $2 \times 3,1416 \times (0,19)^2 \times 0^m,45$, nous avons le nombre de coups simples effectués par un piston, en divisant le volume trouvé $0^{m.c},281$ par ce dernier ; ce qui nous donne :
$\frac{0,281}{2 \times 3,1416 \times (0,19)^2 \times 0,45} = 2,753$ coups simples par piston. Or, comme un de ces coups simples fait faire un demi-tour aux roues motrices, nous avons : $\frac{2,753}{2} =$

1,3765 tours de roue par seconde ; et comme ces roues ont généralement $1^m,38$ de diamètre, ou $4^m,336$ de contour, nous trouvons, en admettant que les roues ne glissent jamais sur les rails en fer : $1^m,377 \times 4,336 = 5^m,982$ parcourus par le convoi en une seconde ; et par heure : $5^m,982 \times 3600'' = 21535^m,20$, ou 21,5 kilomètres, ou enfin $\frac{21,5}{4} = 5^l,37$ lieues environ. Ainsi, avec une dépense de 281 litres de vapeur par seconde, le convoi parcourrait $5^{l},37$ lieues en 1 heure.

Le poids en kilogrammes, que soulèverait pendant une seconde la force de cette machine, est donné par le produit des 70 chevaux par 75 kilogrammètres, divisé par $5^m,982$ le chemin qui est parcouru pendant ce temps; nous trouvons donc :

$$\frac{70 \times 75^{km}}{5^m,982} = 919^{k},5;$$

ce poids est l'effort qui est exercé suivant la direction du chemin de fer. Or, d'après un grand nombre d'expériences faites par M. de Pambour, nous savons que sur les chemins de niveau en bon état, les wagons ayant les boîtes des roues bien graissées, la résistance au tirage est moyennement égale à $3^k,59$ par tonneau, ou par 1000 kilog. de charge y compris le poids des wagons. De sorte que, en divisant les $919^k,5$ par ce dernier poids, nous obtenons $\frac{919,5}{3,59} = 256$ tonneaux, ou 256000 kilogrammes environ, qui sont emportés par la locomotive avec une vitesse de $5^{lieues},37$ à l'heure.

Deuxième Exemple. *Sur un bateau.* Quel serait le

volume Q de vapeur dépensée pendant une seconde, pour un appareil à condensation composé de deux machines conjuguées, dont la somme de leur force pratique $T = 160$ chevaux vapeur, agissant sans détente avec une tension de 1,25 atmosphère.

Pour le déterminer, nous prenons $s = 0,60$ (§.64), ensuite nous substituons ces valeurs numériques dans l'équation 3 (§. 63), et nous avons :

$$Q = 0,05 \times \frac{160}{0,6\,(6,886 \times 1,25 - 1)} = 1^{m.c.},758 \text{ mètre cube,}$$

ou 1728 litres dans une seconde.

Si nous voulions déterminer le nombre de coups simples donnés par chacun des pistons dans une seconde, nous nous rappellerions que la vitesse admise en France, pour toutes les machines à vapeur, sauf pour les locomotives, est de 1 mètre environ par seconde; puis nous chercherions le volume engendré pendant ce temps, par l'un des pistons, lequel volume est donné par la surface de ce dernier, multipliée par ce mètre parcouru en une seconde; par conséquent, le volume engendré par les deux pistons est égal à $2 \times 1^m \times \pi \times R^2$, R est le rayon de l'un des pistons.

Cela posé, nous déterminons d'abord le rayon R, en égalant ce dernier volume à Q, et nous obtenons :

$$R^2 \times 2 \times 1 \times 3,1416 = 1^{m.c.},758\text{; d'où}$$

$$R = \sqrt{\frac{1,758}{2 \times 3,1416}} = 0^m,529.$$

Ensuite, nous remarquons que ce même volume par seconde, est égal au produit du double du nombre N' de coups simples du piston, donnés dans une se-

conde, par la course de l'un des pistons, multipliés par la surface de l'un de ceux-ci ; de manière que, en admettant que la course soit égale à $1^m,40$, nous avons l'égalité

$$2 \times N' \times 3,1416 \times (0,5282)^2 \times 1^m,40 = 1^m,758 \text{ ; d'où}$$

$$N' = \frac{1,758}{2 \times 3,1416\,(0,5282)^2 \times 1^m,40} = 0,7143.$$

Ce nombre, multiplié par 60 secondes et divisé par 2, nous donne $\frac{0,7143 \times 60''}{2} = 21,429$ coups doubles dans une minute pour chacun des pistons, ou ce qui est exactement la même chose, le nombre de tours des roues à palettes. En sorte que la vitesse d'un pareil bateau, naviguant dans une eau à peu près tranquille, est facile à obtenir quand nous savons que le diamètre extérieur de ses roues, pour cette force, est de $5^m,80$ environ, et que la vitesse du navire est à peu près les 0,666 de celle qu'aurait un point pris sur la circonférence extérieure de l'une des roues, qui ont le diamètre précédent.

Ainsi, les 21,429 tours multipliés par le contour extérieur des roues, nous donne le chemin que feraient ces dernières si elles appuyaient à terre; et ce produit multiplié par 0,666, nous fait trouver : $0,666 \times 21,429 \times 5^m,8 \times 3,1416 = 260^m,1$ mètres parcourus par le navire en une minute; et par heure nous obtenons: $260^m,1 \times 60' = 15606$ mètres, ou $\frac{15606}{4000} = 3,9$ lieues de 4000 mètres à l'heure; ce qui correspond en mesure de marine, à $8^n,425$ nœuds, ou à 2,008 lieues de 20 au degré ; le nœud ou le mille nautique contient 1852 mètres.

70. Quoique le coefficient de réduction tienne compte de toutes les pertes, car les expériences ont eu lieu sur l'arbre de couche où s'effectue le travail utile, il nous semble qu'il est convenable d'augmenter Q, le volume trouvé, de $\frac{1}{20}$ de sa valeur; parce que les constructeurs font varier le jeu qu'il faut laisser entre le piston, lorsqu'il est à l'extrémité de sa course, et le fond du cylindre; et même quelquefois ils arrangent la distribution de telle façon qu'il reste assez de vapeur perdue dans la conduite, qui est placée entre le tiroir et ce dernier. En sorte que ce volume devient :

$$Q + \frac{Q}{20} = \frac{21}{20} \times Q = 1{,}05 \times Q, \; (1),$$

lequel est la dépense à peu près réelle de la machine.

71. Quand, au moyen du volume Q dépensé dans une seconde par un seul cylindre, (pour une machine par exemple sans détente), nous voulons déterminer les autres parties du piston : course, rayon et nombre de coups, nous remarquons que $60'' \times Q$ est le volume de la vapeur employée par la machine dans une minute, et que ce dernier volume est égal au produit de la surface du piston par sa course, multiplié par le nombre K des courses simples effectuées dans ce dernier temps; ce qui nous donne l'équation suivante :

$$60'' \times Q = \pi \times R^2 \times C \times K, \; (1).$$

$K \times C$, d'après la règle adoptée en France, est égal à 60 mètres; en y substituant cette valeur numérique, nous trouvons :

$$60'' \times Q = \pi \times R^2 \times 60^m, \text{ ou } Q = \pi \times R^2, \; (2),$$

c'est la formule que nous avons employée pour trouver le rayon des pistons de l'exemple 2 (§.69). De l'équation (1), nous tirons les suivantes :

$$C = \frac{60'' \times Q}{\pi \times R^2 \times K}, (3),$$

$$K = \frac{60'' \times Q}{\pi \times R^2 \times C}; (4), \text{ et } R^2 = \frac{60'' \times Q}{\pi \times K \times C};$$

puis, en extrayant la racine carrée, nous trouvons :

$$R = \sqrt{\frac{60'' \times Q}{\pi \times K \times C}}, (5).$$

72. Pour les machines à détente, nous avons pour ces mêmes quantités :

$$60'' \times Q \times b = \pi \times R^2 \times C \times K, (1).$$

De cette équation nous tirons :

$$C = \frac{60'' \times Q \times b}{\pi \times R^2 \times K} = (2), \quad K = \frac{60'' \times Q \times b}{\pi \times R^2 \times C}, (3)$$

$$Q = \frac{\pi \times R^2 \times C \times K}{60'' \times b}, (4), \text{ et } R^2 = \frac{60'' \times Q \times b}{\pi \times K \times C},$$

ensuite, extrayant la racine carrée, nous obtenons :

$$R = \sqrt{\frac{60'' \times Q \times b}{\pi \times K \times C}}, (5).$$

Mais, lorsque $C \times K = 60$ mètres, la formule (1) devient

$$60 \times Q \times b = \pi \times R^2 \times 60^m, \text{ ou } Q \times b = \pi \times R^2 \text{ ; d'où}$$

$$R = \sqrt{\frac{Q \times b}{\pi}}, (6).$$

Le nombre de tours dans une minute, que fait l'arbre de couche d'une machine à vapeur d'un système quelconque, (sur lequel arbre se trouve la puissance appliquée d'une part, et de l'autre la résistance), nous donne le nombre de coups doubles que le piston frappe

dans le même temps. Or, le nombre de tours que doit faire la résistance est généralement connu. En effet, lorsque nous faisons une machine, c'est pour effectuer un certain travail que nous connaissons parfaitement; donc la vitesse de l'outil est déterminée, et par suite le nombre de tours que doit faire cet outil, puisque celle-ci est un des facteurs de travail.

Ainsi par exemple, dans la construction d'un bateau, la vitesse que celui-ci doit prendre une fois qu'il est à l'eau et tout armé, est toute déterminée pour une certaine charge; ce qui nous donne à peu près le nombre des tours que les roues doivent faire lorsque leurs diamètres ont été arrêtés. De même dans une locomotive, lors de sa construction, la vitesse qu'elle doit atteindre avec une certaine charge est aussi déterminée; et une fois le diamètre des roues arrêté, nous obtenons facilement le nombre de tours de l'arbre de couche. Enfin, dans un moulin à l'anglaise à farine, nous savons que les meules font de 100 à 110 tours à la minute; dans une papeterie, que les cylindres qui broient le papier font de 200 à 220 tours dans ce même temps; et enfin dans une scierie, que la scie donnera 100 coups aussi par minute, etc. Tous ces cas nous font voir clairement que le nombre de tours de l'arbre de couche est généralement connu; puisque de l'outil ou de la pièce, qui reçoit, de proche en proche, le mouvement de l'arbre de couche, nous passons facilement à ce dernier.

73. Appelons donc u ce nombre de tours, nous avons $u = \frac{K}{2}$ ou $2 \times u = K$, (1).

Il nous reste donc à connaître la course C, qui est un peu arbitraire, toutefois lorsque la vitesse v rectiligne, par minute, parcourue par un des points du piston, n'est pas déterminée; car K ou $2 \times u \times C = v$; d'où

$$C = \frac{v}{2 \times u}, \quad (2).$$

Mais lorsque cette vitesse v ne sera pas arrêtée, nous nous servirons du tableau suivant, qui nous fixera à peu près sur la course C du piston à donner à la machine; car, nous remarquons dans les machines anglaises, sauf dans les locomotives qui vont plus vite, que cette vitesse, pour les pistons des diverses machines, varie, des petites aux grandes, entre les deux limites : 50 à 75 mètres parcourus par miuute.

TABLEAU (5) *de la course des pistons des machines à vapeur.*

FORCE PRATIQUE en chevaux vapeur.	Course C EN MÈTRE.
Locomotive.	0,45
1 à 6	0,60 à 0,70
6 à 10	0,70 à 0,90
10 à 20	0,90 à 1,20
20 à 30	1,20 à 1,25
30 à 40	1,25 à 1,30
40 à 60	1,30 à 1,35
60 à 80	1,35 à 1,40
80 à 100	1,4 à 1,50
100 à 150	1,5 à 1,90
150 à 200	» »
et au-dessus.	1,9 à 2,20

De cette manière les quantités K, u et C seront toujours déterminées.

74. Maintenant que nous sommes à même d'obtenir la vitesse de la vapeur, qui est lancée de la chaudière dans la conduite d'une machine, ainsi que le volume Q

de vapeur que cette dernière dépense dans une seconde, nous allons déterminer le rayon des conduites et les dimensions des orifices des machines, pour lesquelles nous avons calculé, (§. 68) et (§. 69), le volume de vapeur.

Pour le premier exemple (§. 68); nous avons obtenu $Q=0^{m.c.},173$; mais, (§. 70), le volume Q à fournir devient égal à $1,05\times 0,173=0^{m.c.},18165$. La tension étant de 5 atmosphères, la vitesse de la vapeur (tableau 3 (§. 58) est de $50^{m},66$, et en substituant dans la formule 1 (§. 59), nous avons :

$$r=\sqrt{\frac{0,1816}{3,1416\times 50,66}}=0^{m},0337,\text{ intérieurement.}$$

Ensuite, nous substituons cette dernière valeur numérique dans la formule 1 (§. 46), en prenant $h=0^{m},035$ la hauteur de l'orifice, et nous obtenons :

$l=\frac{4,7\ (0,03378)^2}{0,035}=0,^{m}1532$ pour la largeur de l'orifice. Le piston, en parcourant 60 mètres par minute, aurait, d'après la formule 5 (§. 71), un rayon de $0^{m},2347$ au *minimum*.

75. Pour le second exemple (§. 68), nous avons trouvé $Q=0,0147$ par seconde; mais, (§. 70), le volume Q devient égal à $1,05\times 0,0147=0^{m.c.},0154$. La vapeur ayant une tension de 6 atmosphères, sa vitesse (tableau 3 §. 58), est de $50^{m},93$. Mais avant d'aller plus loin, il nous convient d'examiner ce qui se passe pour la conduite d'une machine à détente. Nous remarquons que le volume Q, pour cette machine, est le

$\frac{1}{6}$ de celui de la course entière du piston, et que 60 fois Q est la vapeur à fournir dans une minute. Or, K étant le nombre de coups simples du piston, $6\times K$ est le nombre de fois dans une minute que la partie de course du piston, parcourue pendant l'introduction de la vapeur, est contenue dans ce nombre K; donc, si nous appelons Z le temps que l'orifice reste ouvert pendant les K courses, nous avons la proportion :

$$6\times K : 60'' :: K : Z \text{; d'où } Z = \frac{60''\times K}{6\times K} = 10''.$$

Ce qui nous fait voir que le temps, pendant lequel l'orifice reste ouvert, est 6 fois plus petit que celui 60''; ces temps sont donc dans le rapport du volume introduit au volume détendu. Mais comme les différents volumes de vapeur dépensée par une même conduite, sont proportionnels aux temps écoulés, nous voyons donc clairement que pour obtenir dans une minute 60 fois le volume Q, il faut sextupler la surface de la section faite dans la conduite, ou bien multiplier par 6 le volume Q, afin d'obtenir le rayon de cettte dernière. Tout ce que nous venons de dire s'applique d'une manière générale, et se réduit à ceci: lorsque nous aurons à calculer la conduite d'une machine à détente, nous opérerons comme si le cylindre devait être rempli totalement de vapeur à la tension de la chaudière, ou mieux encore, nous multiplierons Q par le rapport renversé du volume introduit au volume détendu. Ainsi nous avons :

$$\frac{6}{1}\times Q = 6\times Q; \ (1),$$

et pour cet exemple : $6\times Q$; et avec cette dernière

quantité nous allons agir comme dans l'exemple précédent. En sorte que nous obtenons, en substituant dans l'équation 1 (§. 59) :

$$r = \sqrt{\frac{6 \times 0,0154}{3,1416 \times 50,93}} = 0^{m},024, \text{ intérieurement.}$$

Puis substituant cette valeur numérique dans la formule 1 (§. 46), en faisant $h = 0^{m},024$ la hauteur de l'orifice, et nous avons :

$$L = \frac{4,7\ (0,024)^2}{0,024} = 0^{m},113.$$

Le piston de cette machine, en parcourant 60 mètres par minute, aurait, d'après la formule 6 (§. 72), un rayon de $0^{m.c}$,166 au *minimum* ; dans laquelle formule nous introduisons le volume 0,0147 qui appartient à cet exemple.

Dans le 3me exemple (§. 68), nous avons obtenu $Q = 0^{m.c},3439$ par seconde ; mais, (§. 70), le volume Q devient égal à $1,05 \times 0,3439 = 0^{m.c},361$. La tension étant de 1,25 atmosphère, la vitesse de la vapeur (tableau 3 §. 58) est de $47^{m},67$, et en substituant dans la formule 1 (§. 59), nous obtenons :

$$r = \sqrt{\frac{0,361}{3,1416 \times 47^{m},67}} = 0^{m},0491, \text{ intérieurement.}$$

Ensuite substituons cette valeur numérique dans la formule 1 (§. 46), en faisant $h = 0^{m},045$ la hauteur de l'orifice, et nous avons :

$$L = \frac{4,7\ (0,0491)^2}{0,045} = 0^{m},20.$$

Le piston de cette machine, en parcourant 60 mètres par minute, aurait, d'après la formule 5 (§. 71), un rayon de $0^{m},3386$ au *minimum*.

Pour le 4e exemple (§. 68), nous avons trouvé $Q = 0^{m.c.},04956$ par seconde; mais, (§. 70) et (§.75), ce volume devient égal à $\frac{4}{1} \times 1,05 \times 0,04956 = 0^{m.c.},2081$.

La vapeur ayant une tension de 3,75 atmosphères, sa vitesse, (tableau 3 §. 58), est de $49^m,92$; en substituant ces valeurs numériques dans la formule 1 (§. 59), nous trouvons :

$$r = \sqrt{\frac{0,2081}{3,1416 \times 49^m,92}} = 0^m,03641, \text{ intérieurement.}$$

Puis, substituons cette valeur numérique dans l'équation 1 (§. 46), en faisant $h = 0^m,036$ la hauteur de l'orifice, et nous avons :

$$L = \frac{4,7\ (0,03641)^2}{0,036} = 0^m,1733, \text{ intérieurement.}$$

Le piston, en parcourant 60 mètres par minute, aurait, d'après la formule 6 (§. 72), un rayon de $0^m,2513$; dans laquelle formule nous introduisons le premier volume $0^{m.c.},04956$ (§. 68), qui appartient à l'exemple 4.

76. Nous trouvons ensuite les deux autres exemples que nous avons donnés (§. 69) : le premier est pris sur une locomotive. Pour obtenir le rayon de sa grosse conduite, nous supposons toujours, comme elle est susceptible d'aller à cette vitesse, que cette machine parcoure au moins 12 lieues à l'heure, ou 48000 mètres dans ce temps; ce qui nous donne, en divisant ce nombre par le contour de l'une des roues motrices : $\frac{48000^m}{4^m,336} =$ 11070 tours de roue dans une heure, ou 11070 coups doubles donnés par chacun des pistons dans 60 mi-

nutes. Puis, en multipliant par 2 ce nombre et divisant le produit par 60', nous avons :

$\frac{2\times 11070}{60'} = 369$ coups simples frappés par minute par chacun des pistons. Ce dernier nombre, multiplié par le double du volume d'une course du piston, et divisé par 60'', nous donne le volume Q par seconde; lequel nous servira pour déterminer le rayon de la grosse conduite, qui amène la vapeur aux tuyaux des boîtes aux tiroirs; et la moitié de la surface de cette conduite est celle de l'un de ces tuyaux.

Ainsi, $\frac{369\times 2\times 0,45\times 3,1416\times(0,19)^2}{60''} = Q = 0^{m.c},627,7.$

Mais, (§. 70), le volume Q à fournir devient égal à $1,05\times 0^{m.c},6277 = 0^{m.c},659$. La vapeur ayant une tension de 4,5 atmosphères, sa vitesse (tableau 3 §. 58) est de $50^m,32$. Puis, en substituant dans la formule 1 (§. 59), nous avons :

$$r = \sqrt{\frac{0,629}{3,1416\times 50^m,32}} = 0^m,6293, \text{ intérieurement.}$$

Les petits tuyaux, qui communiquent aux boîtes des tiroirs, devant avoir la surface de sa section transversale moitié de celle de la grande conduite, et leurs surfaces étant entre elles comme les carrés des rayons, nous avons, en appelant r' le petit rayon :

$$2 : 1 :: r^2 : r'^2 \text{ ; d'où } r'^2 = \frac{r^2}{2}, (1).$$

Ensuite, en y substituant la valeur de r et en extrayant la racine carrée, nous trouvons :

$r' = \sqrt{\frac{(0,06293)^2}{2}} = 0^m,0446$, intérieurement, pour le

rayon de la petite conduite. Enfin substituons cette dernière valeur numérique, dans la formule 1 (§. 46), en prenant h=0m,045 la hauteur de l'un des orifices de l'un des deux cylindres, et nous avons :

$$L = \frac{4,7\ (0,0446)^2}{0,045} = 0^m,2087.$$

Nous ferons remarquer dans cet exemple, qui est pris sur la Victorieuse, que les rayons r, r' diffèrent très-peu de cette locomotive ; et que, d'après notre théorie, les orifices de cet exemple seront plus grands que ceux de cette dernière, ce qui est toujours très-avantageux. Cela nous fait voir que les dimensions que nous obtenons pour les conduites et les orifices, sont très convenables pour construire les machines.

Le second exemple (§. 69) est pris sur un bateau. Pour trouver le rayon de sa grosse conduite, nous remarquons que le volume Q=1m.c,758 par seconde, est dépensé par les deux cylindres ; mais, (§. 70) ce volume devient égal à 1,05×1m.c,752=1m.c,839. La tension étant de 1,25 atmosphère, la vitesse de la vapeur (tableau 3 §. 58) est de 47m,67 ; et en substituant ces valeurs numériques dans l'équation 1 (§. 59), nous trouvons :

$$r = \sqrt{\frac{1,839}{3,1416 \times 47^m,67}} = 0^m,1108.$$

Ensuite, pour avoir le rayon de chacun des tuyaux qui vont aux boites aux tiroirs, nous opérons de la même manière que dans l'exemple précédent ; de sorte que nous avons :

$$2 : 1 :: r^2 : r'^2 \text{ ; d'où } r'^2 = \frac{r^2}{2}.$$

puis, en extrayant la racine carrée et en remplaçant r par sa valeur, nous obtenons :

$$r' = \sqrt{\frac{(0,1108)^2}{2}} = 0^m,07836 \text{, intérieurement.}$$

Enfin, substituant cette valeur numérique dans la formule 1 (§. 46), en prenant $h=0^m,080$ la hauteur de l'un des orifices, nous trouvons :

$$L = \frac{4,7(0,07836)^2}{0,080} = 0^m,3607. \text{ (*)}$$

77. Maintenant que nous pouvons calculer les principales dimensions d'une machine à vapeur, prenons d'autres exemples.

Soit un bateau de la force pratique $T = 500$ chevaux vapeur, (système de Waat), pour faire les voyages transatlantiques. La tension de la vapeur dans la chaudière sera de $a = 1,25$ atmosphère ; la détente commencera aux $\frac{3}{4}$ de la course du piston, c'est-à-dire que le volume introduit sera les $\frac{3}{4}$ de celui détendu, ou du volume d'une course du piston. L'appareil se composera de deux machines conjuguées ; les tiroirs seront mus par des excentriques circulaires, et les orifices du cylindre s'ouvriront au condenseur d'une hauteur telle, qui contiendra une fois et demi celle qu'ils montreront à la vapeur de la chaudière.

Pour obtenir d'abord le volume Q de vapeur que l'appareil dépensera par seconde, nous prendrons $s=0,60$

(*) *Nota.* Nous ferons remarquer que, dans ces exemples, le rayon de la conduite est à peu près égal à la hauteur de l'orifice.

(§.64); puis nous remarquerons que $b = \frac{4}{3} = 1,333$ et que $U = 13238^{km.}$, (nous obtenons ce nombre en prenant une moyenne arithmétique entre 13044 et 13434 tableau 4 (§. 61). Cela dit, nous substituons ces valeurs numériques dans la formule 4 (§. 63), et nous trouvons :

$$Q = \frac{75 \times 500}{0,60\,(13238 \times 1,25 - 1500 \times 1,333)} = 4^{m.c.},296$$ mètres cubes, ou 4296 litres de vapeur au *minimum* dépensées par seconde.

Ensuite, nous faisons parcourir à chacun des pistons un chemin $K \times C = 75$ mètres par minute; puis nous divisons par 2 le volume Q, afin d'obtenir la vapeur qui est dépensée par un seul cylindre; et enfin, en substituant ces valeurs dans l'équation 5 (§. 72), nous avons :

$$R = \sqrt{\frac{60'' \times 4^{m.c.},296 \times 1,333}{2 \times 75^{m} \times 3,1416}} = 0^{m},8539$$ pour le rayon des pistons au *minimum*.

Prenons $2^{m},2 = C$ la course des pistons, et remarquons que nous obtenons le nombre $\frac{K}{2}$ de coups doubles frappés par l'un de ces derniers, en divisant les 75 mètres parcourus dans une minute par le double de la course C; ce qui nous donne : $\frac{75}{4,4} = 17,045$ pour ce nombre de coups doubles, ou le nombre des tours de roue. Or, comme les roues d'un pareil bateau auraient $9^{m},2$ environ de diamètre, et comme aussi un bateau bien construit pour cette force, prend

moyennement en mer calme les $\frac{2}{3}$ de la vitesse de la circonférence extérieure des roues, nous avons le chemin parcouru par ce navire dans une minute, en multipliant les $\frac{2}{3}$ $\left(= 0,6666\right)$ du contour extérieur de l'une des roues par le nombre des tours faits dans ce temps ; nous trouvons donc :

$$0,6666 \times 3,1416 \times 9^{m},2 \times 17,015 = 328^{m},4,$$

et par heure 19704m, (60 fois plus). Si nous divisons par 4000 mètres nous obtenons 4,926 lieues, environ 5 lieues terrestres à l'heure.

Cela posé, déterminons les rayons de la grande et des deux petites conduites égales ; pour y parvenir, nous nous rappellerons que le volume Q à fournir par la chaudière est égal, (§. 102 et 132), à $1,05 \times 1,333 \times 4^{m.c.},296 = 6^{m.c.},013$, et que la tension de cette vapeur étant de 1,25 atmosphère, sa vitesse à l'extrémité de la conduite est de $47^{m},67$ (tableau 3, §. 58); ensuite nous substituons ces deux valeurs numériques dans l'équation 1 (§. 59), et nous avons :

$r = \sqrt{\frac{6,013}{3,1416 \times 47,67}} = 0^{m},20$, intérieurement, pour la grosse conduite. Celui r' des conduites qui portent la vapeur en partant de celle-ci, aux boîtes à tiroir, nous l'obtenons, d'après ce que nous avons démontré (§. 76), par la formule :

$$r' = \sqrt{\frac{(0,20)^2}{2}} = 0^{m},1417, \text{ intérieurement.}$$

Pour obtenir les dimensions des orifices, nous opérons comme dans les exemples précédents (§. 52) en faisant

d'abord h la hauteur des orifices égale à $0^m,14$; puis en nous servant du *tableau* 1 (qui nous donne, d'après l'économie $\frac{1}{4}$ de vapeur, 30° pour l'angle d'avance), (§.49), et de la formule 1 (§.51), nous trouvons, pour la hauteur de la bande ou la longueur de la manivelle du tiroir : $m = \frac{1 \times 0^m,14}{0,5} = 0^m,28$; ensuite, nous substituons cette valeur numérique, ainsi que celles de B, D et n que nous trouvons dans le *tableau* 2 (§. 50), dans l'équation 1 (§. 48), et nous obtenons :

$$L = \frac{(14-1)\ 3,1416\ (0^m,1417)^2}{2 \times 0^m,28 \times (5,52-3,25)} = 0^m,6449.$$

La bande du tiroir ayant $0^m,28$ de hauteur, la course de celui-ci est donc de $0^m,56$, (§. 10).

Mais nous avons admis que l'orifice s'ouvrira au condenseur d'une hauteur qui contiendra une fois et demie celle qu'il présentera à la chaudière, et cela sans rien modifier à la course du tiroir. Pour obtenir cette hauteur, rien de plus facile, nous ajoutons tant aux bandes qu'aux orifices $0^m,070$, mais du côté où se fait d'abord l'ouverture à la vapeur de la chaudière; ce qui nous donne des orifices de $0^m,21$ de hauteur, et des bandes de $0,^m35$; le tiroir a toujours la même course.

78. Pour avoir les dimensions des heurtoirs il faut connaître le rayon R' de l'arbre de couche à l'endroit où se place l'excentrique; et pour le trouver nous nous appuyons sur ce que les forces pratiques en chevaux de deux machines à vapeur pour les grands bateaux (d'après M. Campaignac, qui s'est basé sur des faits expérimentés, ou pour mieux dire sur des bateaux fonc-

tionnant), sont entre elles comme les cubes des diamètres de leurs arbres de couche ; or, comme les bateaux de 160 chevaux ont les arbres de couche de $0^m,28$ de diamètre, nous pouvons donc poser la proportion :

$$160 : 500 :: (0,28)^3 : (2\times R')^3 .$$

De cette proportion nous tirons :

$$(2\times R')^3 = \frac{(0,28)^3 \times 500}{160} ;$$

et en extrayant la racine cubique et divisant par 2, nous avons :

$$R' = \frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{(0,28)^3 \times 500}{160}} = 0^m,203.$$

Cela fait, substituons ce rayon ainsi que l'angle d'avance réduit en minutes, dans l'équation 3 (§. 38), et nous trouvons :

$$l = \frac{0^m,203(5400-1800)}{1718,9} = 0^m,4249 ;$$

et le nombre de degrés qu'il renferme est donné par la formule 4 (§. 38), en y remplaçant l'angle c par sa valeur 30 degrés, ce qui nous donne :

$$l = \frac{360-4\times 30^\circ}{2} = 120 \text{ degrés}.$$

Pour le heurtoir de l'excentrique, nous avons démontré (§. 37) qu'il était égal à 4 angles c ou $4 \times 30^\circ = 120$ degrés, et que la manivelle m le divisait en deux parties parfaitement égales. La longueur en mètres de celui-ci nous est donnée par l'équation 2 (§. 38), en y substituant la valeur numérique du rayon de l'arbre, ainsi que celle de l'angle d'avance réduit en minutes, de sorte que nous avons :

$$l' = \frac{0^m,203\times 1800}{863,4} = 0^m,4232.$$

D'après ce résultat nous voyons que les deux heurtoirs sont égaux et que les formules, qui nous donnent pour chacun de ces derniers le nombre de degrés et la longueur en mètre, ont produit le même résultat.

Ainsi, en résumant toutes les dimensions que nous avons obtenues pour les machines de cet appareil, nous trouvons $Q = 4^{mc},296$ le volume au *minimum* de la vapeur employée par seconde, $R = 0^{m},8539$ au *minimum* pour le rayon des pistons, $K = 34,09$ coups simples de l'un des pistons dans une minute, $C = 2^{m},2$ la course de ceux-ci, le diamètre extérieur des roues $= 9^{m},2$, la vitesse du bateau $= 4,924$ lieues à l'heure, le rayon r de la grosse conduite $= 0^{m},20$, celui r' des petites conduites $= 0^{m},1417$ au *minimum*; $M = \frac{2^{m},2}{2} = 1^{m},1$ la manivelle du piston, $m = 0^{m},28$ la manivelle du tiroir, $h = 0^{m},21$ la hauteur de l'orifice pour que l'ouverture au condenseur contienne une fois et demie celle ($0^{m},14$) qui se montre à la chaudière, $L = 0^{m},6449$ sa largeur, et $0,^{m}35$ pour la hauteur des bandes; et enfin $R' = 0^{m},203$ le rayon de l'arbre de couche, et les heurtoirs ont chacun 120 degrés et $0^{m},4235$ de longueur développée prise sur la surface de l'arbre à l'endroit de l'excentrique.

Pour placer ces heurtoirs, nous nous rappellerons que celui de l'excentrique est divisé en deux parties égales par le plus grand rayon d'excentricité de ce dernier; puis, pour celui de l'arbre lorsqu'il est roulé en arc, nous ferons passer, au moyen d'un trusquin ou de tout autre instrument convenable, la trace d'un plan

passant par l'axe de l'arbre et par celui du boulon de la manivelle M. Cette trace produira nécessairement une des génératrices de l'arbre; ensuite, suivant une circonférence de cercle appartenant à ce dernier, nous diviserons, en partant de cette génératrice, le contour de l'arbre en autant de parties égales que l'angle d'avance peut être contenu dans celui-ci, (dans cet exemple c'est en douze parties égales, car $\frac{360^\circ}{30^\circ}=12$). Cela fait, nous prendrons à droite ou à gauche de la manivelle une de ces parties, en partant toujours de la génératrice, et nous marquerons un point sur l'arbre, par lequel point le grand rayon d'excentricité doit passer. Après, nous porterons, en nous éloignant de cette génératrice et à partir de ce point, 2 de ces parties et nous marquerons un second point, qui appartiendra à l'une des extrémités du heurtoir de l'arbre; l'autre point qui doit passer par l'autre extrémité, nous le trouverons évidemment en appuyant ce heurtoir sur l'arbre, et en s'éloignant toujours de la génératrice.

79. Soit enfin un dernier exemple pris sur une locomotive, composée, comme elles sont toutes faites, de deux machines conjuguées, dont la force pratique $T=100$ chevaux; au moyen de laquelle nous voulons parcourir moyennement 12,6 lieues à l'heure (de 4000 mètres), ou 14 mètres par seconde. Les roues motrices de cette machine auront $1^m,6$ de diamètre; de manière que leur contour est égal à $1^m,6\times\pi=5^m,026$. Le nombre de coups doubles donnés par chacun des pistons, ou ce qui est la même chose, le nombre des tours faits par les

roues dans une seconde, est évidemment, en supposant que celles-ci ne glissent jamais sur le rail, égal à $\frac{14^m}{5,^m026}=2,785$; et le nombre total des coups simples donnés par les deux pistons dans ce dernier temps est 4 fois ce nombre, ou $4 \times 2,785 = 11,14$. De sorte que ce dernier nombre, multiplié par le volume $\pi \times R^2 \times C$ de la course de l'un des pistons, nous donne le volume dépensé par seconde; nous avons donc :

$$11,14 \times \pi \times R^2 \times C.$$

La tension de la vapeur dans la chaudière est de $a =$ 4 atmosphères; la détente commencera aux $\frac{3}{4}$ de la course du piston. Les tiroirs seront mus chacun par deux excentriques circulaires, un pour marcher en avant et l'autre en arrière, comme l'a fait l'habile M. *Stéphenson*; de cette manière, nous donnerons dans chacun de ces deux sens de l'avance au tiroir. Les orifices s'ouvriront à l'atmosphère d'une hauteur double de celle qui montrèront à la chaudière.

Pour obtenir au *minimum*, en fonction du travail pratique T, le volume Q de vapeur que dépensera par seconde cette locomotive, nous prendrons $s = 0,819$ (§. 67), puis nous remarquerons que $b = \frac{4}{3} = 1,3333$, et que $U = 13238$, comme précédemment. Ensuite, nous substituerons ces valeurs numériques dans l'équation 2 (§. 63), et nous obtiendrons :

$Q = \frac{75 \times 100}{0,819(13238 \times 4 - 10333 \times 1,333)} = 0,2337$ de mètre cube, ou 234 litres environ.

Mais lorsque la vapeur sera détendue, ce volume deviendra $1,333 \times 0,234 = 0^{m.c},312$, et il égalera le volume précédent, donné par les 11,14 coups simples frappés par les deux pistons; nous aurons donc l'égalité:

$$11,14 \times \pi \times R^2 \times C = 0,312.$$

Actuellement, sans nous occuper des dimensions des locomotives existantes, faisons la course $C = 0^m,4$, puis substituons-la dans cette dernière; nous avons alors, en tirant la valeur de R^2 :

$$R^2 = \frac{0,312}{11,14 \times 3,1416 \times 0^m,4};$$

ensuite, en extrayant la racine carrée, nous obtenons;

$$R = \sqrt{\frac{0,312}{11,14 \times 3,1416 \times 0,4}} = 0^m,1474, \text{ au } minimum.$$

Les rayons r, r' des conduites, (la grande et les deux petites), nous les trouvons en remarquant que le volume à fournir par la chaudière est (§. 70 et 75) : $1,05 \times 1,333 \times 0,234 = 0,3276$; et que la vitesse de la vapeur à 4 atmosphères de tension est aussi de $50^m,07$ (tableau 3 §. 58). Cela posé, nous substituons dans la formule 1 (§. 59), et nous avons :

$$r = \sqrt{\frac{0,327}{3,1416 \times 50,07}} = 0^m,0456, \text{ intérieurement.}$$

Pour celui r' des petites conduites, nous substituons la valeur numérique de r dans la formule 1 (§. 76), et nous obtenons :

$$r' = \sqrt{\frac{(0^m,0456)^2}{2}} = 0^m,03224, \text{ intérieurement.}$$

Les dimensions des orifices s'obtiennent en opérant comme dans l'exemple précédent, et en faisant

la hauteur h de ceux-ci égale à $0^m,032$; de cette manière nous trouvons que, d'après l'économie et les tableaux précités : 1° l'angle d'avance est de 30 degrés, toujours d'après la figure 10, voyez (§. 81) pour avoir l'angle que feraient les deux manivelles ;

$$2° : m = \frac{1 \times 0^m,032}{0^m,05} = 0^m,064 ;$$

$$3° : L = \frac{(14-1)\ 3,1416\ (0,03224)^2}{2 \times 0,064\ (5,53-3,25)} = 0^m,1454.$$

Les bandes du tiroir étant censées de $0^m,064$ de hauteur, la course de celui-ci sera de $0^m,128$. Mais nous voulons que la hauteur de l'orifice soit double au condenseur; pour obtenir cela, nous ajoutons $0^m,032$ à chacune des bandes et à chacun des orifices. Celui du condenseur doit avoir une ouverture au moins égale à l'un de ces derniers ainsi augmenté.

Ainsi, la hauteur réelle de chaque bande est de $0^m,064 + 0^m,032 = 0^m,096$, et celle de chacun des orifices de $0^m,032 + 0^m,032 = 0^m,064$.

Cette addition pour ce tiroir sans garnitures, se fait de o vers c, et de g vers n (fig. 14) pour les bandes; et de d vers m, et de u vers h pour les orifices; c'est-à-dire que les longueurs du et og restent les mêmes.

Nous ferons encore remarquer que le diamètre des petites conduites se trouve entre le quart et le cinquième de celui du diamètre du piston, (ce sont les conditions de la Victorieuse); et que nous avons encore l'avantage incontestable d'avoir les orifices plus grands.

Nous avons vu (§. 45) que les conduites étaient trop

grandes dans les machines à vapeur, lorsque celles-ci fonctionnaient très-bien avec des orifices égaux en surface à celles des conduites; parce qu'il doit naturellement exister une différence sensible entre les ouvertures de ceux-là et de celles-ci; car ces dernières restent constamment tout ouvertes, tandis que les premiers ne restent tout ouverts que pendant une très-petite partie du temps que met le piston à parcourir sa course.

Maintenant il est permis de dire, d'après les nombreux exemples qui précèdent, que notre calcul nous donne des dimensions pour les conduites et les orifices, peuvent être adoptées sans arrière-pensée; car si nous les comparons à celles des machines existantes, nous verrons de suite qu'elles sont dans de très-bonnes conditions. Cette théorie aura donc l'avantage de donner aux conduites leurs justes grosseurs; d'où il suit une économie : d'abord un moindre poids de tuyau, par conséquent moins de frais d'achat, puis une surface de refroidissement moindre, laquelle occasionnera une dépense moindre de charbon : c'est le but qu'il faut toujours chercher à atteindre.

Les deux excentriques seront placés, pour chaque tiroir, de telle sorte que leur grand rayon d'excentricité fasse un angle de 30 degrés avec la manivelle *M*, et toujours d'après la fig. 10, (§. 81); mais l'un du côté droit et l'autre du côté gauche de cette dernière. Alors la locomotive se trouvera bien réglée une fois que le tiroir sera placé comme nous l'avons dit (§. 9).

Si nous divisions le produit $75^{\text{kilog.}} \times 100^{\text{c}} = 7500$ ki-

logrammètres, qui représentent la force des 100 chevaux vapeur, dépensée dans une seconde, par le produit du chemin 14 mètres parcourus dans ce temps, par 3k,59, correspondant à un tonneau, ou à 1000 kilog., nous aurions :

$\frac{75 \times 100}{14 \times 3,59} = 149^t,2$ tonneaux emportés par la locomotive sur un chemin horizontal, avec une vitesse de 12,6 lieues à l'heure, le poids de la machine y compris.

Ce résultat est certainement trop grand, parce que le coefficient 0,819 ne convient que pour des vitesses au-dessous de 4 lieues; mais peu nous importe cela; il ne s'agit ici, seulement, que de faire voir comment nous calculerions les parties les plus importantes de ces machines.

80. De ce que la manivelle *M* ne peut diviser en deux parties égales, quand le piston est au milieu de sa course, la demi-circonférence qu'elle décrit, pendant que celui-ci parcourt une course entière, il arrive que, lorsque cette manivelle monte d'un côté, les orifices ont une certaine ouverture, par rapport à une position quelconque du piston, et que, quand elle descend par l'autre côté, pour la même position du piston (à sa demi-course), les orifices ont une autre ouverture, ce qui ne doit pas avoir lieu. Pour éviter ce défaut dans la construction des machines, après que le tiroir a été déterminé comme nous venons de le faire, nous augmentons ou nous diminuons, selon que l'arbre de couche est en haut ou en bas, l'un des orifices ou l'une des bandes, ou bien nous faisons le contraire,

Pour obtenir, par exemple, la quantité qu'il faut diminuer de la bande, nous traçons la figure 44 sur laquelle nous opérons comme il suit. Nous avons démontré (§.7) que le diamètre *io* était le chemin rectiligne que le tiroir parcourt pendant une demi-révolution de sa manivelle *m*, par conséquent ce que nous dirons à l'égard de ce diamètre s'appliquera exactement au tiroir.

Soit *ag* la bielle, (nous la prenons un peu courte, afin de mieux observer les effets qu'elle produit sur la marche du tiroir par rapport à celle du piston), *cg* ou *cd* la manivelle *M*, *gcs* l'angle d'avance et *ct* la manivelle *m*, ou le grand rayon d'excentricité. Dans le mouvement de rotation de la manivelle, le point *g* est entraîné par celle-ci, et le point *a* arrive en *a'* ; la longueur $aa'=a'a''=M$. De sorte que, quand le point *g* est arrivé en *d*, alors que $a'c=a'd$, le piston est à sa demi-course; la manivelle *m* partant du point *t* s'arrête évidemment en *u*. Dans cette position, le chemin parcouru par le tiroir, est donné par *no*. La manivelle *M* continuant sa marche se trouve enfin au point *h*, celle *m* en *k*, et le point *a'* au point *a''*, alors le piston est à l'autre extrémité de sa course. Actuellement, faisons revenir ce dernier point en *a'*, les manivelles continuant à tourner, le point *h* passera en *d'*, alors que $d'a' = ca'$, et le point *k* en *l* ; nous voyons clairement que le piston est encore à sa demi-course. Le chemin rectiligne en sens contraire parcouru par le tiroir, en partant du point *k*, est donné par *mq;* mais ce chemin doit être égal à *no*, puisque le piston est comme précédemment à sa demi-course. Or, ces chemins ne

pouvant être égaux parce que la bielle est toujours trop courte, nous sommes forcé de diminuer l'une des bandes, afin de laisser à l'orifice une ouverture pareille à celle de l'autre. Si la bielle *ag* était d'une longueur infinie l'arc *d'cd* se confondrait avec la droite *ecp*, et alors les chemins en question, *mq*, *no*, seraient égaux; mais comme cela ne peut être, nous retrancherons à la hauteur de la bande qui convient, la différence qui existe entre ces deux chemins.

Pour déterminer cette différence, *no*—*mq*, nous remarquons que d'un côté l'angle d'avance *lcr* augmenté de l'angle *rci* est égal à l'angle *lci*, dont le cosinus est *ic*, et de l'autre côté que l'angle d'avance *vcu* diminué de l'angle *vco* ou *rci* son égal, nous donne l'angle *uco*, dont le cosinus est *co*. Les angles égaux d'avance *kch*, *xct* ont chacun pour sinus *qc* ou *cn*; de sorte que, si nous ajoutons à chacun des chemins précités l'un ou l'autre de ces deux sinus, nous aurons deux sommes $on + nc$ et $mq + qc$, dont leur différence est précisément ce que nous cherchons.

Il nous reste donc à déterminer les deux angles égaux *rci* et *vco* ainsi que l'arc *rxv;* pour y parvenir, nous remarquons que cet arc augmenté de deux fois l'arc *ir* est égal à l'arc *ixo* ou à la demi-circonférence; donc, si de la différence, arc *ixo*—arc *rxv*, nous en prenons la moitié, nous avons l'arc *ir*, ou ce qui est la même chose l'angle *rci* ou *vco*; et celui-ci en l'ajoutant à l'angle *lcr* et le retranchant à l'angle *vcu*, nous fait obtenir ceux qui nous donnent les cosinus *cm* et *co*. Quant à l'arc *rxv* ou *d'gd*, (c'est indifférent parce

que c'est le nombre de degrés que nous cherchons), il est facile de l'obtenir. En effet, dans le triangle isocèle *d'ca'* ou *dca'*, nous connaissons les trois côtés ; car *da'* et *ca'* représentent chacun la longueur de la bielle, et le troisième côté *do* est celle de la manivelle *M;* de manière que, si nous représentons la bielle par *B*, et par *S* la somme des trois côtés du triangle isocèle, nous avons, d'après ce que nous apprend la trigonométrie :

$$\sin. \frac{1}{2} dca' = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{2}S-B\right)\left(\frac{1}{2}S-M\right)}}{\sqrt{B \times M}}, \text{ (1)}.$$

Nous appellerons u la moitié de l'angle *dca'*. Le quadruple de l'angle u ou $4 \times u$ est l'angle *d'od;* retranchons cet angles ($4 \times u$) de la demi-circonférence ou de 180°, puis divisons le reste par 2, il vient :

$$\frac{180^\circ - 4 \times u}{2} = \text{angle } d'co, \text{ (2)},$$

que nous représentons par *d*.

Cela fait, nous l'ajoutons et nous le retranchons à l'angle *o* d'avance, sans oublier toutefois de multiplier par la manivelle *m*, et nous avons la différence précitée:

$$m \times \cos.(c-d) - m \times \cos.(c+d) = m\left(\cos.(c-d) - \cos.(c+d)\right), \text{ (3)},$$

pour la quantité qu'il faut retrancher au tiroir et à la bande du bas ou à celle du haut, selon que l'arbre de couche est en haut ou en bas. Ainsi l'angle *c*, la bielle *B*, et les manivelles *m*, *M* étant connues, nous déterminerons toujours cette quantité.

Ce que nous avons dit pour marcher en avant se répète à peu près de la même manière pour marcher en arrière.

Ainsi, pour l'exemple du bateau (§. 77), en admettant que la longueur de la bielle B contienne 5,5, celle de la manivelle M qui est de $1^m,1$, nous aurions :

$$B = 5,5 \times 1^m,1 = 6^m,05;$$

or, comme nous avons trouvé que l'angle c était égal à 30 degrés, et que la manivelle $m = 0,^m28$, nous trouvons, en substituant dans la formule 1 (§. 80 fig. 44) :

$$\sin.\frac{1}{2}dca' = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2}\times 13^m,2 - 6^m,05\right)\left(\frac{1}{2}\times 13^m,2 - 1^m,1\right)}{6,^m05\times 1^m,1}} = 0^m,6742.$$

Ce sinus nous donne un angle de 42°23', dont le quadruple est 169°32'. Substituons cette valeur dans la formule 2 (§. 80), et nous avons :

$$\frac{180 - 169°3'2}{2} = 5°14' = d;$$

ensuite, en substituant cette dernière dans l'équation 3 (§. 80), nous obtenons :

$$0^m,28\left(\cos.(30° - 5°14') - \cos.(30° + 5°14')\right) =$$
$$0^m,28\ (\cos.\ 24°46' - \cos.\ 35°14') =$$
$$0^m,28\ (0,9080 - 0,8168) = 0^m,0255,$$

pour la quantité qu'il faudrait retrancher à la bande du bas, parce que dans un bateau, l'arbre de couche est toujours en haut.

Ainsi, la bande supérieure du tiroir aurait $0^m,35$ de hauteur, comme nous l'avons déjà dit, et celle du bas en aurait $0^m,35 - 0^m,0255 = 0^m,3245$; et cela sans jamais modifier la longueur extérieure d'une bande à l'autre.

Après que cette diminution est ainsi faite à la bande inférieure du tiroir, il nous est facile d'examiner si elle

ne troublerait pas l'accord que nous avons déjà établi plus haut, pour l'introduction de la vapeur dans le cylindre, lorsque la manivelle *M* passe successivement par chacun de ces points morts. Pour cela, nous remarquons que, le tiroir étant réglé comme nous l'avons fait (§. 9), l'orifice inférieur, après cette diminution faite à la bande, serait déjà ouvert de $0^m,025$ à la vapeur de la chaudière quand la manivelle *M* arriverait au point mort supérieur; par conséquent de la vapeur viendrait presser le piston du côté opposé à la direction de celui-ci, avant qu'il eût terminé sa course; ce qui produirait un inconvénient très-grave, qu'il convient toujours d'éviter, sans porter préjudice à la bonne harmonie qui doit exister dans la distribution de la vapeur.

Pour y parvenir, nous faisons en sorte que l'orifice inférieur soit fermé, lorsque la manivelle *M* est à son point mort supérieur, (pour une machine à balancier qui a l'arbre de couche en haut); mais qu'il soit prêt à livrer passage à la vapeur de la chaudière, pour agir contre le piston, le plus promptement possible, et à l'instant même que cette manivelle quitte insensiblement cette position. Cela fait, il est facile de voir que l'ouverture de l'autre orifice sera en retard de $0^m,025$, lorsque cette dernière arrivera au point mort inférieur; mais ceci n'est pas, à beaucoup près, d'un inconvénient aussi grave que le précédent; puisque la puissance motrice n'aura pas, de cette manière, à vaincre une force qui lui serait directement opposée.

Ainsi, pour régler le tiroir de cette machine (§. 77),

nous mettrons la manivelle à son point mort inférieur, puis nous opérerons comme nous l'avons dit (§. 9); seulement, nous placerons l'arrête inférieure de la bande supérieure du tiroir, 0,025 au-dessous de l'arrête inférieure (pour un tiroir à garniture) de l'orifice supérieur; de telle sorte, que le tiroir aurait encore à monter de 0,025 pour commencer à donner issue à la vapeur de la chaudière.

Cette méthode pour régler le tiroir est très-facile, surtout après avoir placé l'arrête inférieure de la bande supérieure, à la même hauteur de l'arrête inférieure de l'orifice supérieur, comme nous l'avons dit (§. 9). En effet, nous prenons deux points : le premier fixe sur la tige taraudée du tiroir, et le second mobile sur la traverse de de celui-ci; ensuite, après avoir mesuré en millimètres parallèlement à la tige du tiroir la distance qui sépare ces deux points, nous faisons descendre ce dernier au moyen des écrous qui fixent cette traverse sur la tige, jusqu'à ce que cette distance soit augmentée de $0^m,025$. Mais n'oublions pas surtout, si l'arbre de couche était en bas, que ce serait la bande supérieure du tiroir que nous devrions réduire, et que nous devrions régler celui-ci comme nous venons de le dire, mais d'après l'orifice inférieur. La réciproque a tout de même lieu pour les machines qui sont sans balancier, et qui ont tantôt l'arbre de couche en haut et tantôt en bas.

81. Dans la théorie précédente, sur les tiroirs (fig. 10), nous avons toujours supposé que la direction de la bielle d'excentrique était perpendiculaire sur la mani-

velle *M* du piston, lorsque celle-ci était à l'un des points morts, autrement dit, que les chemins rectilignes parcourus dans une révolution complette par les manivelles *M* et *m*, étaient perpendiculaires entre eux. Mais cela n'a lieu généralement que pour un certain nombre de machines fixes; tandis que dans beaucoup d'autres, surtout dans celles qui sont destinées à la navigation et aux chemins de fer, ces chemins rectilignes font entre eux un certain angle, qui dépend pour les bateaux de la distance verticale de l'arbre de couche à celui du tiroir; et que dans les locomotives, et autres de ce genre, ces chemins sont parallèles ou dans le même plan. Nous remarquons d'après cela, si nous posions tous les excentriques en suivant ce que nous avons dit plus haut, que certaines machines ne pourraient pas fonctionner.

La règle générale pour régler l'excentrique, pour toutes les machines qui ont ces chemins précités, formant un certain angle ou étant parallèles, ou enfin étant dans le même plan, consiste à faire tourner autour de son sommet (fig. 10), l'angle qui est formé par l'horizontale et par le grand rayon d'excentricité, ou la manivelle *m*. En sorte que, pour celles qui sont dans le genre de celles des bateaux, nous faisons tourner autour de son sommet l'angle *oce* (fig. 45), (la droite *fc*, représentant la direction de la bielle d'excentrique d'un bateau, nous la supposons immobile), lequel angle est formé par l'horizontale *oc*, qui représente, dans le cas de la figure 10, la bielle de l'excentrique, et par la droite *ec*, qui représente dans le même cas, la position de la manivelle *m*; nous faisons, disons-nous,

tourner cet angle de telle sorte, que *oo* tombe sur *cf*, où se trouve la bielle d'excentrique lorsque la manivelle *m* est à sa demi-course. Alors, l'autre côté *ec* formant avec *ac*, dans le cas de la figure 10, l'angle d'avance est passé en *e'o;* et l'angle *ace'* est celui que doivent faire les deux manivelles *M* et *m*; ceci s'applique aux machines des bateaux et à toutes les autres de ce genre.

Ensuite, pour les locomotives et autres semblables, nous faisons encore tourner autour de son sommet l'angle *oca*, parce que la bielle d'excentrique est parallèle à la manivelle du piston, ou bien elle se trouve dans le même plan, lorsque celle-ci est à l'un des points morts; de sorte que, l'angle ayant tourné et *oc* étant tombé sur *ac*, la droite *ec* est passée en *e''c*, et l'angle *e''ca* est celui que doivent faire les deux manivelles *M* et *m* de la locomotive.

Ainsi, en prenant une machine de bateau ou toute autre de ce genre, et après avoir obtenu l'angle *c* d'avance, comme nous avons appris à le trouver, nous déterminons, au moyen d'un rapporteur et de l'épure de la machine, l'angle *ocf;* puis nous retranchons ce dernier de l'angle *o*, et la différence est l'angle que doivent faire les deux manivelles *M* et *m*. Si le reste de cette soustraction est positif, l'angle se formera du même côté de l'angle *c*, c'est-à-dire en partant de *a* et en allant vers *o;* mais s'il est négatif, l'angle ne pourra se faire que de l'autre côté où le sinus de l'angle *c* est négatif, c'est-à-dire en partant de *a* et en allant vers *i*.

Pour la locomotive, ou pour toute autre machine de ce genre, nous prenons le complément de l'angle *c*, et nous avons l'angle que doivent faire les deux manivelles *M* et *m*; mais cet angle doit se former de telle sorte que son sinus soit négatif par rapport au sinus positif de l'angle *c*, c'est-à-dire qu'en partant de *a* il se formera toujours en allant vers *i*. Ce que nous venons de dire s'applique pour marcher en avant.

Pour avoir cet angle lorsque la machine tourne en arrière, ou dans le sens opposé à la flèche (fig. 45), nous plaçons la manivelle *M* au point mort *a'*, opposé à l'autre *a*, et l'angle d'avance *c* se fait de l'autre côté (§. 37), où son sinus est négatif, de manière que *ec* passe en *uc*, (*uca*=*ace*). Puis nous faisons tourner autour de son sommet l'angle *uco*, jusqu'à ce que *oc* tombe sur *cf*, alors la droite *uc* est passée en *u'c*, et l'angle *u'ca* est celui que doivent faire les deux manivelles *M* et *m* de la machine d'un bateau, lorsque celle du piston est au point mort *a'*, pour marcher en arrière.

Pour une locomotive qui devrait agir à l'aide de heurtoirs, dans le sens opposé à la flèche, nous opérerons comme nous venons de le faire, seulement nous faisons passer *oc* en *ac*, et la droite *uc* passerait en *u''c*; de sorte que l'angle *u''ca* dont le sinus est négatif, est celui que doivent faire les deux manivelles *M* et *m*, lorsque celle *M* est au point mort *a'*, pour marcher en arrière.

Maintenant nous croyons pouvoir dire que, avec tout ce que nous avons dit sur les heurtoirs (§. 37), et sur le mouvement des deux manivelles, nous serons à

même, en y apportant un peu d'attention, de disposer l'excentrique ainsi que le tiroir d'une machine à vapeur quelconque. Cette partie de la machine n'est pas facile à saisir du premier abord, il faut nécessairement, pour bien concevoir les différentes positions de l'excentrique, se représenter la machine en action, et se rendre raison des mouvements rectilignes du piston et du tiroir, ainsi que de ceux circulaires des manivelles *M* et *m*. Nous insistons à réclamer au lecteur cette attention, parce que sans elle nous craignons de ne pas être compris.

82. Ne serait-il pas utile que nous eussions dans les machines à vapeur en général, le rapport des distances parcourues par le tiroir et le piston, à partir d'un point fixe, pour pouvoir à volonté, sans rien déranger à la machine, vérifier si la distribution est bien réglée? La recherche que nous allons faire conduit à ce but.

Le rapport entre les distances parcourues, chacune à partir d'un point fixe, par le tiroir et le piston, nous le représenterons par $\frac{A}{B}$, dont les deux termes sont variables à chaque instant, quand la machine travaille. Ainsi, quand A représente la distance parcourue par le tiroir, B représente aussi la distance parcourue par le piston; ces deux distances s'effectuent toujours dans le même temps.

Cela dit nous remarquons que, dans l'hypothèse que la fin de la course du tiroir corresponde exactement à

la fin de la course du piston, le rapport $\frac{A}{B}$ ne serait pas variable; car les deux courses commençant et finissant en même temps, les distances accomplies par le tiroir et le piston, seraient, en quelque position que ce fût, dans le rapport des deux manivelles *m*, *M*.

Mais un tel arrangement est impossible dans les machines à vapeur, puisqu'il faut que la demi-course du tiroir corresponde, à peu près, à la fin de la course du piston; ce qui nous fait voir que la manivelle *m* a déjà parcouru, au moins un quart de cercle, ou 90 degrés, quand la manivelle *M* est au point mort; et réciproquement cette dernière est au quart de sa révolution, lorsque la première est au point mort. D'après cela, nous voyons facilement que la quantité *A* augmente quand *B* diminue, et réciproquement; donc ce rapport est variable.

83. Pour déterminer ce rapport, nous cherchons séparément d'abord la valeur de *B*, puis celle de *A*, au moyen de la figure 46 qui nous donne deux triangles rectangles semblables, *adb*, *dfb*, desquels nous tirons: $ab : bd :: bd : fb$; d'où $\overline{bd}^2 = ab \times fb$; d'où encore; $fb = \frac{\overline{bd}^2}{ab}$, (1).

Dans cette figure *cb* est la longueur de la manivelle *M*, et l'angle *bcd* est celui qui est décrit par cette dernièce à l'instant que nous voulons comparer les distances parcourues. Dans toutes les opérations que nous aurons à faire, nous représenterons cet angle *bcd* par par la lettre *e*. La circonférence *aedbia* est décrite par

le boulon de la manivelle, lequel assemble celle-ci avec la bielle que nous fixons au balancier ou à la tige du piston.

Actuellement du point c menons la perpendiculaire co sur la corde bd; nous avons alors deux triangles rectangles égaux, cob, cod. De celui-ci nous tirons :

$$\sin.\left(\frac{e}{2}\right) : od :: \sin.\ 90^\circ : cd\,;$$

comme $cb = cd = M$, nous avons, en substituant et en tirant la valeur de od:

$$od = M \times \sin.\left(\frac{e}{2}\right).$$

Ensuite, en multipliant les deux membres par 2, nous obtenons :

$$2 \times od = 2 \times M \times \sin.\left(\frac{e}{2}\right);$$

mais $2 \times od = bd$, de sorte qu'en substituant et élevant les deux membres au carré, nous trouvons :

$$\overline{bd}^2 = 4 \times M^2 \times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right).$$

Cela fait, remplaçons $\overline{bd}^2$ dans la formule (1) par cette dernière valeur, et nous trouvons, en remarquant que $ab = 2 \times M$.

$$fb = \frac{4 \times M^2}{2 \times M} \times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) = 2 \times M \times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right), (2),$$

ce qui nous donne la valeur de fb, mais cette droite est la projection de l'arc bd sur le diamètre ab, ou à peu près le chemin rectiligne que le piston parcourt pendant que la manivelle M décrit l'arc bd.

Le chemin parcouru par le piston serait égal à bf,

si le quart de révolution de cette dernière correspondait exactement à la demi-course du piston ; mais cela ne peut être, par conséquent *fb* est plus grand ou moindre que le chemin parcouru par ce dernier.

84. Pour obtenir la véritable valeur de *fb*, nous traçons la fig. 47 dans laquelle *A'r* est la longueur de la bielle précitée, *cr* celle de la manivelle *M* qui décrit avec son boulon *r*, autour du centre *c*, le contour *narB*. Dans cette position, la bielle se trouvant dans le plan de la manivelle, celle-ci est à son point mort inférieur.

Maintenant, nous portons sur la verticale le point *A'* en *A*, et nous faisons en sorte que *A'A* = *cr* = *M*; il est évident, après ce mouvement, que le piston est à sa demi-course, puisque *M* est égale à cette dernière. Ensuite, du point *A*, comme centre avec un rayon *A'r*, nous traçons l'arc de cercle *Bca*, et l'intersection de cet arc avec la circonférence *narB* est la position de la manivelle *M* ; alors que le piston est à sa demi-course. Puis, l'arc *aB* passant par le centre *c*, nous menons du point *B* sur *Ar* la perpendiculaire *Bda* ; ce qui nous fait voir que *dr* est la projection de l'arc *rB*, et que cette droite surpasse de *cd* la droite *cr* ; donc la quantité *cd* doit être retranchée de *dr*, afin d'obtenir la véritable valeur de la demi-course du piston. Si la bielle ou le point *A* était du côté du point *r*, la longueur *cr* serait alors plus grande que *rd*, parce que l'arc *acB*, tout en passant par le centre *c*, se trouverait renversé.

Nous voyons donc qu'il faudra retrancher ou ajouter à *rd* la quantité *dc*, selon que l'arbre de couche est en bas ou en haut. De même encore nous la retranchons

ou nous l'ajoutons, selon que la manivelle monte ou descend par rapport à l'observateur. Ainsi, pour déterminer la valeur du chemin parcouru par le piston, nous avons les formules suivantes :

$$2\times M\times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) - cd, \ (1),$$

pour une machine qui a l'arbre de couche en bas et la manivelle qui monte ;

$$2\times M\times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) + cd, \ (2),$$

pour le même cas, mais ici la manivelle descend ;

$$2\times M\times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) - cd, \ (3),$$

pour une machine qui a l'arbre de couche en haut et la manivelle qui descend ;

$$2\times M\times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) + cd, \ (4),$$

pour le même cas, mais ayant la manivelle qui monte.

Or, comme nous nous occupons seulement de la distance du point fixe au point mobile : le premier est situé sur le couvercle du cylindre, et le second sur la tige du piston ; et comme encore le point fixe est toujours du même côté, il faut :

1° Que nous retranchions cette quantité *cd*, pour les machines sans balancier, qui ont les cylindres verticaux et les arbres de couche en bas (fig. 3) ;

2° Que nous l'ajoutions pour ces mêmes machines, mais pour celles qui ont l'arbre de couche en haut (fig. 4);

3° Que nous l'ajoutions encore pour toutes les machines qui ont les cylindres horizontaux (fig. 5).

4° Que nous le retranchions pour les machines qui ont les cylindres verticaux, l'arbre de couche en haut et des balanciers qui portent leur point d'appui au milieu de leur longueur (fig. 2).

5° Enfin, que nous l'ajoutions pour ces dernieres, mais pour celles qui ont l'arbre de couche en bas (fig. 1).

85. Ainsi, d'après cela, nous avons pour le 1er et le 4e cas, la formule suivante :

$$2\times M\times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right)-cd\,;$$

et pour les 2e, 3e et 5e cas, la formule :

$$2\times M\times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right)+cd.$$

Pour parvenir à déterminer la valeur de cd, nous remarquons que le triangle AdB (fig. 47) nous donne:

$$\overline{AB}^2-\overline{dB}^2=\overline{Ad}^2\,;\ \text{d'où}\ Ad=\sqrt{\overline{AB}^2+\overline{dB}^2},\ldots.\ (1).$$

D'un autre côté nous avons le triangle Bdc duquel nous tirons :

$$\sin.\,dcB : dB :: \sin.\,90° : cB\,;$$

$$\text{d'où :}\quad dB=cB\times\sin.\,dcB\,;$$

mais le sinus de l'angle dcB est le même que celui de l'angle Bcr, ou e son supplément, et $cB=M$; en sorte qu'en substituant, nous avons :

$$dB=M\times\sin.\,e.$$

Elevons les deux membres au carré, nous obtenons :

$$\overline{dB}^2=M^2\times\sin.^2 e\,;$$

puis substituons cette valeur sous le radical de la formule (1), en faisant la longueur de la bielle AB égale à G, et nous trouvons :

$$Ad=\sqrt{G^2-M^2\times\sin.^2 e}.$$

Maintenant que nous connaissons la valeur de Ad, si nous la retranchons de $Ac = AB = G$, nous aurons :

$$cd = G - \sqrt{G^2 - M^2 \times \sin.^2 e} =$$

$$G - \sqrt{G^2 - M^2 \frac{G^2}{G^2} \times \sin.^2 e} = G - G\sqrt{1 - \frac{M^2}{G^2} \times \sin.^2 e} =$$

$$G\left(1 - \sqrt{1 - \frac{M^2}{G^2} \times \sin.^2 e}\right), (2).$$

Or, dans toutes les machines à vapeur la longueur M de la manivelle étant contenue dans celle de la bielle G un certain nombre de fois, (nous représentons ce nombre par v), il est facile de voir que la fraction $\frac{M}{G}$ se change en $\frac{1}{v}$, lorsque nous divisons les deux termes de cette fraction par M; car $\frac{M}{M} = 1$ et $\frac{G}{M} = v$; ce qui nous donne :

$$\frac{M}{G} = \frac{1}{v}.$$

Ensuite, en élevant ces deux membres au carré, nous obtenons :

$$\frac{M^2}{G^2} = \frac{1}{v^2};$$

puis, substituant sous le radical de l'équation (2), nous avons en définitive :

$$cd = G\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{v^2} \times \sin.^2 e}\right) =$$

$$G\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin.^2 e}{v^2}}\right).$$

Ainsi par exemple, si la longueur de la manivelle était contenue 6 fois dans celle de la bielle, et que l'arc e parcouru par le boulon de la première fût de 90 degrés, nous aurions pour la valeur numérique de cd, en supposant la longueur de G de 3 mètres :

$$cd = 3\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin.^2 90°}{(6)^2}}\right) = 3\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{36}}\right) =$$

$$3\left(1 - \sqrt{\frac{36-1}{36}}\right) = 3\left(1 - \frac{1}{6}\sqrt{35}\right) = 3\left(1 - \frac{5{,}915}{6}\right) =$$

$$\frac{3}{6}\left(6 - 5{,}915\right) = \frac{1}{2} \times 0{,}085 = 0^m{,}0425.$$

La formule générale de la distance parcourue par le point mobile à partir du point fixe, est donc, pour les machines qui seront dans les conditions de la figure 3 :

$$2 \times M \times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) - G\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin.^2 e}{v^2}}\right), (3),$$

cette formule est la valeur du dénominateur B (§. 82).

86. Nous avons maintenant à déterminer, comme nous l'avons dit, la valeur du numérateur A, celle-ci nous est donnée par la même formule qui reçoit quelques modifications, qui se présentent en observant que dans toutes les machines dans lesquelles le tiroir n'a point de l'avance, celui-ci ferme les orifices lorsque la manivelle M est à l'un des points morts.

Alors la manivelle m ou le tiroir est à sa demi-course (§. 6); mais pour que cette manivelle m soit dans cette position, quand celle M a atteint l'un des points

morts, il faut qu'elle ait parcouru le quart de cercle ou 90 degrés; elle précède donc celle-ci de ce nombre de degrés; ce qui nous fait voir que le chemin parcouru par un point pris sur le tiroir à partir d'un point fixe situé dans le plan du premier, est représenté par :

$$2 \times m \times \sin.^2\left(\frac{90 + e}{2}\right), (1).$$

lorsque le boulon de la manivelle M, en partant du point mort, a parcouru l'angle e.

Si le tiroir est en avance, comme nous l'avons vu précédemment, nous ajouterons encore l'angle d'avance c aux 90 degrés déjà parcourus, et nous avons, pour la formule générale pour une machine qui a le tiroir en avance :

$$2 \times m \times \sin.^2\left(\frac{90^\circ + c + e}{2}\right), (2),$$

ce qui nous donne la valeur de A (§. 82). En sorte qu'en substituant ces deux formules 3 (§. 85) et 2 (§. 86) à la place de A et de B (§. 82), nous obtenons :

$$\frac{2 \times m \times \sin.^2\left(\frac{90^\circ + c + e}{2}\right)}{2 \times M \times \sin.^2\left(\frac{e}{2}\right) - G\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin.^2 e}{v^2}}\right)}, (3).$$

La quantité cd que nous retranchons ou ajoutons suivant le cas, au dénominateur, devrait aussi diminuer ou augmenter le numérateur; mais comme la manivelle m est toujours très-courte par rapport à la longueur de sa bielle d'excentrique, qui est généralement très-longue, nous considérons cette quantité comme nulle.

87. 1° L'angle d'avanceformé par les deux manivelles *m*, *M*, est gauche ou à droite de la verticale, (selon que la machine tourne en avant ou en arrière), lorsque les points morts de la première se trouvent dans l'horizontale, et ceux de la seconde dans la verticale; c'est le cas des machines 1, 3 et 4.

2° Cet angle est au-dessus ou au-dessous de l'horizontale (selon que la machine marche en avant ou en arrière), quand les points morts de *m* sont dans la verticale et ceux de *M* dans l'horizontale; c'est le cas des machines qui sont dans le genre de la figure 5.

3° Enfin, lorsque les points morts de la manivelle *m* se trouvent dans une droite oblique à l'horizontale, et ceux de la manivelle *M* dans la verticale, la position de l'angle d'avance ne peut s'obtenir qu'en ajoutant aux 90° augmentés de l'angle d'avance, l'angle que fait l'horizontale avec la manivelle *m* du tiroir, lorsque celle-ci est dans cette oblique, (voyez §. 81); c'est le cas des machines qui sont dans le genre de la figure 2.

88. Dans ce qui précède nous avons parlé de deux points fixes, l'un pour le tiroir et l'autre pour le piston; nous prenons le premier sur l'extrémité de l'un des goujons que porte le presse-étoupe du couvercle de la boîte au tiroir, lequel point nous plaçons dans le même plan perpendiculaire à la tige de celui qui est mobile, situé sur cette tige et lorsque ce tiroir est au bas de sa course.

Le second point fixe est pris sur l'extrémité du goujon du presse-étoupe du couvercle du cylindre, lequel

point est situé dans le plan perpendiculaire à la tige du piston lorsque celui-ci est au bas de sa course.

Il est évident que, quand le piston et le tiroir seront parvenus au haut de leur course, les distances qui sépareront ces points donneront exactement les chemins qu'ils parcourront dans une course entière.

Ces conditions bien remplies et bien comprises, nous pourrons à chaque instant nous rendre raison de la marche du tiroir comparée à celle du piston.

En effet, soient les points *a*, *c* (fig. 48), situés dans le même plan perpendiculaire à la tige du piston, (le point *a* est celui qui est placé au bout du goujon fixe, et le point *c* celui que nous prenons sur cette tige), et le piston au bas de sa course; dans les calculs que nous ferons nous mettrons toujours ce dernier dans cette position.

Cela posé, nous concevons la machine fonctionnant et la vapeur entrant dans le cylindre par l'orifice inférieur, (nous supposons une machine du genre de la fig. 3); alors le piston montera et entraînera le point *c* en l'éloignant du point *a*. De sorte que, si nous voulions déterminer en mètre la partie de course parcourue par ce piston, après qu'il est monté d'une certaine quantité, nous prendrions une règle *cb* bien dressée et d'équerre sur les bouts, d'une largeur plus grande que *ac*, ensuite nous l'appliquerions sur la tige du piston, en faisant appuyer la face *ac* sur le goujon *a*, et nous compterions sur cette règle à partir du point *c* en allant vers *e*, le nombre de mètres ou de parties du mètre contenues dans la distance *ce*.

Nous opérerons de la même manière pour les points du tiroir; en sorte que, les dimensions des bandes de ce dernier, celles des orifices et celles des deux manivelles M, m, et la longueur G de la bielle, étant connues il sera toujours possible de comparer les deux distances parcourues par le piston et le tiroir, au moyen de la formule 3 (§. 86), pour rectifier les erreurs commises par le machiniste quand il démonte ce dernier. Comme nous l'avons vu, le numérateur de cette formule représente la distance parcourue par le tiroir, et le dénominateur celle qui est parcourue par le piston.

89. Actuellement prenons quelques exemples pour montrer comment nous agirons en pareille circonstance.

1er Exemple. Quelles sont les distances parcourues par le tiroir et le piston à partir d'un point connu, lorsque la manivelle M a décrit en montant, un arc de $90° = e$; nous supposons l'angle c d'avance de 10 degrés, la longueur de la manivelle $m = 0^m,06$, celle de $M = 0^m,5$, et la longueur de la bielle $G = 3^m,00$.

En substituant toutes ces valeurs dans la formule 3 (§. 86), nous avons :

$$\frac{2 \times 0^m,06 \times \sin.^2\left(\frac{90+10+90}{2}\right)}{2 \times 0^m,5 \times \sin.^2\left(\frac{90}{2}\right) - 3\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin.^2 90}{36}}\right)};$$

puisque

$$v = \frac{3^m,00}{0,5} = 6.$$

En effectuant les opérations indiquées, nous trouvons :

$$\frac{0,12\times \sin.^2 95°}{\sin.^2 45°-0^m,0425}=\frac{0^m,1191}{0^m,4575}.$$

Ce résultat nous fait voir que quand le point mobile de la tige du piston moteur est à une distance de $0^m,4575$ de son point fixe, celui du tiroir doit se trouver à une distance de $0^m,1191$ du sien. Le rapport de ces deux distances est $\frac{0^m,1191}{0^m,4575}=\frac{1}{3,842}$.

Dans ce calcul nous ne nous occupons point des chemins parcourus, nous ne tenons compte seulement que des distances des points fixes aux points mobiles, car dans le tiroir de cet exemple, le chemin parcouru est plus grand que $0^m,1191$, puisque la manivelle *m* a parcouru un arc plus grand que 180 degrés. Or, comme il suffit à une manivelle de décrire cet arc pour faire parcourir au tiroir toute sa course, qui est ici de $0^m,12$, il est évident que le tiroir a retrogradé de la différence: $0^m,12-0^m,1191=0^m,0009$. Le véritable chemin parcouru tant en allant qu'en venant, est donc :

$$0^m,1200+0^m,0009=0^m,1209,$$

nombre plus grand que $0^m,1191$.

2me Exemple, Dans un tiroir nous faisons la hauteur des bandes égale à celle des orifices, (dans ce cas nous n'avons pas d'angle d'avance), et nous prenons les mêmes conditions qui précèdent, c'est-à-dire que $m=0^m,06$, $M=0^m,5$ et $G=3^m,00$, seulement l'arc parcouru par la manivelle n'est que de 30 degrés $=e$;

nous avons encore $v = 6$. En substituant dans la formule 3 (§. 86), nous obtenons :

$$\frac{2\times0{,}06\times\sin.^2\left(\frac{90^\circ+30^\circ}{2}\right)}{2\times0{,}5\times\sin.^2\left(\frac{30^\circ}{2}\right)-3\left(1-\sqrt{1-\frac{\sin.^2 30^\circ}{36}}\right)}=$$

$$\frac{0{,}12\times0{,}866\times0{,}886}{1\times0{,}2588\times0{,}2588-3\left(1-\frac{1}{6}\sqrt{36-0{,}067}\right)}=$$

$$\frac{0^m{,}09}{0{,}06699-0{,}0027}=\frac{0^m{,}09}{0^m{,}064},$$

ce qui nous donne $0^m{,}09$ pour la distance du point fixe au point mobile du tiroir ; et $0^m{,}064$ pour celle du piston. Dans cette position le rapport des deux distances est :

$$\frac{0{,}090}{0{,}064}=\frac{1{,}41}{1}.$$

3me Exemple. Les données restent les mêmes, hormis l'arc décrit par la manivelle M que nous faisons égal à 60 degrés $= e$; le tiroir étant mu par la manivelle m, effecctne une détente qui donne aux bandes la hauteur des orifices plus la moitié de cette hauteur ; ainsi, si ces deeniers ont $0^m{,}04$ de hauteur, les bandes en auront $0^m{,}06$. La différence de ces deux nombres étant $0^m{,}06 - 0^m{,}04 = 0^m{,}02$, servira pour trouver l'angle d'avance; car d'après ce que nous avons donné (§. 8), nous avons: $\frac{0^m{,}02}{0^m{,}06} = 0{,}3333$ pour le sinus de l'angle d'avance. Ce sinus correspond à un angle de 19°28'.

Substituons ces valeurs numériques dans la formule 3 (§. 86), et nous avons :

$$\frac{2\times 0^m,06\times \sin.^2\left(\frac{90^\circ+19^\circ 28'+60^\circ}{2}\right)}{2\times 0^m,5\times \sin.^2\left(\frac{60^\circ}{2}\right)-3\left(1-\sqrt{1-\frac{\sin.^2 60^\circ}{36}}\right)}=$$

$$\frac{0^m,12\times \sin.^2 84^\circ 44'}{1\times \sin.^2 30-3\left(1-\frac{1}{6}\sqrt{36-\sin.^2 60^\circ}\right)}=$$

$$\frac{0^m,12\times 0,9915}{0^m,25-3\,(1-0,9895)}=\frac{0,1189}{0,2185}.$$

Ce qui nous fait voir que le point mobile du tiroir est à une distance de $0^m,1189$ du point fixe et ceux du piston sont séparés par une distance de $0^m,2185$. Dans cette position le rapport est de $\frac{0,1189}{0,2185}=\frac{1}{1,837}$.

4me Exemple. Maintenant, nous prendrons le même exemple en supposant la manivelle *M* au point mort inférieur. Alors l'angle *e* de 60 degrés que nous avions fait parcourir à cette manivelle deviendra nul, et en substituant dans la formule 3 (§. 86), nous trouvons :

$$\frac{2\times 0,06\times \sin.^2\left(\frac{90^\circ+19^\circ 28'+0^\circ}{2}\right)}{2\times 0,5\times \sin.^2\left(\frac{0^\circ}{2}\right)-3\left(1-\sqrt{1-\frac{\sin.^2 0^\circ}{36}}\right)}=$$

$$\frac{2\times 0^m,06\times \sin.^2\left(\frac{109^\circ 28'}{2}\right)}{2\times 0^m,5\times \sin.^2 0-3\left(1-\sqrt{1-0}\right)}=$$

$$\frac{0^{m},12 \times \sin.^2 44^\circ 44'}{0-0} = \frac{0^{m},12\,(0,8166)^2}{0} = \frac{0^{m},08}{0},$$

ce qui nous fait voir que, quand le piston est rendu au bout de sa course, le tiroir a déjà parcouru $0^{m},08$. Il est évident que le rapport $\frac{0,08}{0}$ est plus grand que toute quantité assignable, puisque nous avons $0^{m},08$ à diviser par zéro.

5me Exemple. Nous prendrons encore les données de l'exemple précédent, seulement nous supposerons que l'angle e, parcouru par la manivelle M, est de 70° 32'. Ensuite, en substituant dans la formule 3 (§. 86), nous avons :

$$\frac{2 \times 06 \times \sin.^2\left(\frac{90^\circ+19^\circ 28'+70^\circ 32'}{2}\right)}{2 \times 0^{m},5 \times \sin.^2\left(\frac{70^\circ 32'}{2}\right) - 3\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin.^2 70^\circ 32'}{36}}\right)} =$$

$$\frac{0^{m},12 \times \sin.^2 90^\circ}{\sin.^2 35^\circ 16' - 3\left(1 - \frac{1}{6}\sqrt{36 - \sin.^2 70^\circ 32'}\right)} =$$

$$\frac{0^{m},12}{0,3334 - 3\left(1 - \frac{1}{6} \times 5,929\right)} = \frac{0^{m},12}{0^{m},297};$$

ce résultat nous fait voir que quand le tiroir est au bout de sa course le piston a monté de $0^{m},297$. Le rapport de ces deux distances : $\frac{0^{m},12}{0^{m},297} = \frac{1}{2,475}$.

6me Exemple. Nous prenons toujours les mêmes don-

nées, pour que nous puissions saisir comment cela s'applique en général, pour toutes les positions de la manivelle, et afin que nous nous rendions bien compte des chemins que décrivent les deux manivelles; mais nous supposons dans celui-ci que la manivelle *M* a parcouru, en partant de son point mort inférieur, un angle *e* de 180 degrés; il est évident que cette dernière a décrit la demi-circonférence, et que le point mobile du piston est dans la position la plus éloignée du point immobile. Substituons cet angle ainsi que les autres valeurs connues dans la formule 3 (§. 86), et nous obtenons :

$$\frac{2\times 0^{m},6\times \sin.^2\left(\frac{90^\circ+19^\circ 28'+180^\circ}{2}\right)}{2\times 0^{m},5\times \sin.^2\left(\frac{180^\circ}{2}\right)-3\left(1-\sqrt{1-\frac{\sin.^2 180^\circ}{36}}\right)}.$$

Comme le sinus de 180 degrés est égal à zéro, le second terme du dénominateur devient égal à zéro, et nous obtenons le rapport :

$$\frac{0^{m},12\times \sin.^2 144^\circ 44'}{2\times 0,5\times 1}=\frac{0,12\ (0,5774)^2}{1}=\frac{0^{m},04}{1^{m}.}$$

qui nous fait voir que, quand le point mobile du piston est à $1^{m},00$ de distance de son point fixe, le point mobile du tiroir est à une distance de $0^{m},04$ de son point immobile.

En effet, la manivelle étant égale à $0^{m},5$ de longueur, et ayant accompli une demi-révolution, elle aura fait parcourir au piston un chemin de 1 mètre; mais dans cette dernière position elle est au point mort supérieur, et le tiroir doit avoir parcouru dans l'autre

sens une distance de $0^m,08$ puisque les choses, dans cette position, sont exactement ce qu'elles étaient au point mort inférieur, par conséquent la différence de la course $0^m,12$ aux $0^m,08$, (voyez le 4ᵉ exemple), parcourus dans l'autre sens est $0^m,04$, ce qui est bien la distance du point pris sur le goujon au point qui est placé sur la tige du tiroir.

7me Exemple. Nous prendrons toujours les mêmes données, seulement nous ferons parcourir à la manivelle, en partant de son point inférieur, un angle de 250°32', afin que le tiroir arrive à son tour au point mort inférieur; puis, les substituant encore dans la formule 3 (§. 86), nous trouvons :

$$\frac{2\times 0{,}06\times \sin.^2\left(\frac{90°+19°28'+250°32'}{2}\right)}{2\times 0{,}5\times \sin.^2\left(\frac{25°32'}{2}\right)-3\left(1-\sqrt{1-\frac{\sin.^2 250°32'}{36}}\right)}=$$

$$\frac{0^m,12\times \sin.^2 180°}{1\times \sin.^2 125°16'-3\left(1-\frac{1}{6}\sqrt{36-\sin.^2 250°32'}\right)}=$$

$$\frac{0}{0{,}6666-3\left(1-\frac{1}{6}\sqrt{36-0{,}8871}\right)}=\frac{0}{0{,}6291}.$$

Il est facile de voir que ce rapport est plus petit que toute quantité assignable, puisque nous avons zéro à diviser par $0^m,6291$. Ainsi, d'après les exemples 4 et 7, nous remarquons que les rapports $\frac{0{,}08}{0}$ et $\frac{0}{0{,}6291}$ sont

les limites (pour cette machine) entre lesquelles varie le rapport des chemins parcourus par le piston et le tiroir, à partir d'un point fixe; d'où, en général, nous pouvons conclure, (parce que ces exemples sont applicables à toutes les machines), que la variation de ce rapport s'étend de l'infiniment petit à l'infiniment grand et réciproquement.

Ce que nous venons de faire étant bien conçu, nous pouvons, à l'avenir, nous servir de la formule 3 (§.86) pour calculer, dans quelque position que se trouvent le piston et le tiroir, le rapport qui existe entre les deux distances parcourues à partir d'un point fixe, pris sur la boîte du couvercle, comme nous l'avons dit.

Actuellement il sera facile de déterminer ces distances parcourues par le piston et le tiroir dans toutes les positions de la demi-révolution de la manivelle; de telle manière que nous pourrons faire, pour chaque machine, lors de sa confection dans l'atelier, un tableau de 4 colonnes : dans la première se trouverait les nombres de degrés depuis zéro jusqu'à 180 degrés, dans la seconde les chemins parcourus par le tiroir à partir toujours d'un point fixe, dans la troisième les chemins parcourus par le piston à partir aussi d'un point fixe, et dans la quatrième les rapports des deux distances.

Lorsqu'un tableau de ce genre sera dressé, nous pourrons vérifier à chaque instant si la machine est toujours bien réglée. Le nombre des exemples que nous avons donnés est plus que suffisant pour mettre le mécanicien à même de pouvoir former ce tableau.

Nous comprenons facilement qu'il n'est pas néces-

saire, pour former ce dernier, de déterminer à l'aide de la machine les angles ou les arcs parcourus par la manivelle *M* ; nous ne devons seulement connaître que l'angle d'avance et la manière dont le tiroir est placé. La longueur de la bielle *G*, celle des manivelles *M* et *m*, étant toujours connues, avant d'arriver à la pose du tiroir, nous pourrons obtenir ce tableau après avoir pris un grand nombre de stations dans la demi-circonférence décrite par le boulon. Ainsi, par exemple, nous prendrons 181 stations, la première sera au point mort inférieur, la seconde à une distance d'un degré de la première, la troisième aussi à la même distance de la seconde et ainsi de suite, toujours en augmentant d'un degré.

De cette manière tous les arcs parcourus seront connus, et en substituant, nous obtiendrons toujours, pour chaque position, les deux distances entre les points mobiles immobiles.

90. *Quelques mots sur la mise en train des machines à vapeur.* La mise en train consiste d'abord à purger ou à chasser, au moyen de la vapeur lorsque celle-ci a une tension suffisante, l'air qui se trouve renfermé dans les parties de la machine où doit arriver cette vapeur pour produire tout son effet. Nous devons aussi en chauffer toutes les parties, ce qui se fait en même temps que la purge. Il est facile de voir que la machine est assez chauffée et que l'air en est expulsé; soit en touchant avec la main les parois des vases, soit en ouvrant les orifices qui communiquent de l'intérieur de ces parties à l'extérieur atmosphérique; alors la va-

peur que nous avons introduite dans ces dernières, doit en sortir avec un sifflement qui convient à la tension de la vapeur qui est dans la chaudière.

Ainsi, pour une machine à haute pression, nous laissons monter dans la chaudière, la tension de la vapeur jusqu'à une atmosphère et quart environ; puis nous ouvrons la soupape à gorge et tous les orifices ou ouvertures qui se trouvent sur le cylindre dans lequel se meut le piston moteur; ensuite, nous ouvrons un autre petit robinet ou soupape de purge, qui donne issue à la vapeur pour aller sur ou sous le piston. Cette dernière se condense en arrivant dans ce cylindre froid, et abandonne, par cela même, aux parois de celui-ci ainsi qu'au piston, toute sa chaleur latente; et en laissant arriver pendant un certain temps ce jet de vapeur, nous trouvons après ce temps écoulé que le cylindre est chaud; dès lors la vapeur se condense moins vite et l'air se trouve totalement expulsé. Cela fait, nous fermons toutes les ouvertures et nous laissons monter la tension de la vapeur qui est dans la chaudière, jusqu'à la pression exigée par le travail que doit faire la machine. Ensuite, nous la purgeons encore un peu et nous faisons donner très-lentement, en rouvrant la soupape à gorge, 3 à 4 coups de piston à la machine. Ces oscillations étant faites, nous faisons prendre à la machine un mouvement plus rapide, en donnant peu à peu la vitesse du régime qui convient à la marche ordinaire. Lorsqu'il arrive que ce petit robinet ou soupape de purge, n'a pas pour cette opération toute l'efficacité convenable, nous faisons alors fonctionner de temps en temps le

tiroir avec le levier à main, qui sert à faire passer sur ou sous le piston une plus grande quantité de vapeur.

Pour les machines à condensation, nous opérons exactement comme nous venons de le dire, seulement, dans celles-ci, nous avons le condenseur de plus. Il faut que, quand ce dernier est purgé d'air et d'eau, la vapeur qui y entre puisse s'y maintenir au moins à 100 degrés de température. D'après cela nous comprenons facilement que les ouvertures qui sont sur le condenseur s'ouvriront, et laisseront échapper dans l'espace la vapeur qui a assez de force pour lever les soupapes qui bouchent ces ouvertures. La pression atmosphérique seulement agit sur ces soupapes. Le cylindre étant purgé et chauffé, et le condenseur se trouvant dans les conditions précédentes, nous pourrons faire fonctionner la machine. Pour y parvenir, nous fermons toutes les ouvertures, hormis la soupape à gorge appelée souvent registre; puis, avec le levier à main nous faisons mouvoir le tiroir, afin que la vapeur arrive sur ou sous le piston; ensuite nous purgeons encore un peu et nous fermons ce registre; après nous ouvrons au quart ou au tiers le robinet d'injection, en rouvrant au même instant la soupape à gorge, et la vapeur pousse le piston, si l'un des orifices est découvert. Mais l'eau qui est introduite dans le condenseur, réduisant à son moindre volume la vapeur qui s'y trouve renfermée, c'est-à-dire en eau, fait en grande partie le vide dans ce vase. De sorte que la vapeur qui agit contre le piston affecte alors sa plus grande pression, et le mouvement doit s'en suivre immédiatement. Une fois que la machine

fonctionne nous augmentons l'ouverture du robinet d'injection, de telle sorte que le condenseur se maintienne constamment à une température moyenne de 35 degrés cetigrades. (la chaleur du condenseur doit être supportable à la main). Comme dans les machines à haute pression, nous commencerons par faire donner 4 à 5 coups de piston à la machine, puis nous la mettrons définitivement en route.

Quand, dans une machine à basse pression les garnitures des pistons sont nouvellement faites, il est convenable de l'aider en poussant le volant pour mettre ce moteur en train.

Nous insistons sur le mouvement lent à donner aux machines lorsqu'elles partent, pour deux causes : d'abord pour les masses qui ne doivent passer du repos au mouvement, et réciproquement, que par degrés de vitesse allant sensiblement en augmentant ou en diminuant ; ensuite par rapport à l'eau provenant de la vapeur condensée qui reste dans le cylindre, afin que cette eau puisse s'échapper sans briser les parois de ce dernier.

91. Les constructeurs de machines à vapeur ont la bonne habitude de livrer au commerce les machines ayant une puissance plus grande que celle qui leur est demandée, afin d'éviter les discussions qui pourraient en résulter, si les moteurs se trouvaient au-dessous de la force exigée. Pour ne pas déroger à cet usage, nous proposons d'ajouter aux rayons des pistons le $\frac{1}{40}$ de sa valeur numérique. Or, comme les



forces des machines sont proportionnelles au carré des rayons des pistons, cette addition augmente la force des machines à vapeur dans le rapport de 1 à 1,05, ou de $\frac{1}{20}$ de la force pratique T.

En effet, si R est la première valeur du rayon, $R + \frac{R}{40}$ est aussi la seconde valeur de ce rayon ainsi augmenté; de sorte que, si nous élevons au carré ces deux valeurs, nous avons pour la première R^2, et pour la seconde :

$$R^2 + \frac{R^2}{20} + \frac{R^2}{1600} = \frac{1600 \times R^2 + 80 + R^2 + R^2}{1600} =$$

$$\frac{1681 \times R^2}{1600} = 1^m,05 \times R^2 \text{ environ.}$$

Il est évident, d'après ce qui précède, que multiplier par 1,05 le carré du rayon, c'est l'augmenter de $\frac{1}{20}$; puisque $0,05 = \frac{1}{20}$, et que $1,05 = 1 + 0,05$. Donc la force de la machine, étant proportionnelle au carré du rayon, augmente aussi de $\frac{1}{20}$. Ainsi, par exemple, la force de celle-ci étant de 80 chevaux et le rayon, d'après cette force, ayant été trouvé de 0m,529, (§. 69), nous ajoutons à ce nombre le $\frac{1}{40}$ de sa valeur, et nous avons :

$$0^m,529 + \frac{0,529}{40} = 0^m,5422.$$

Cette augmentation donne à cette machine une force de $1,05 \times 80 = 84$ chevaux au lieu de 80.

92. La longueur totale, au *minimum*, de la plaque de friction du tiroir à détente, fixe ou variable, (lequel est mû par un excentrique formé par des courbes paraboliques et circulaires), est égale à la longueur totale de ce tiroir augmentée de deux fois la hauteur d'un orifice et d'une fois celle d'une bande; ce qui nous donne (§. 23 et fig. 18) :

$$dm+4\times ed+ef-\frac{ed-dm}{2}+2\times dm+ed=$$

$$3\times dm+5\times ed+ef-\frac{ed-dm}{2}.$$

Mais comme il faut un peu de jeu au tiroir, pour qu'il ne touche pas sur les fonds de la boîte qui le renferme, nous ajoutons dans le sens de la course $0^{m},01$ de chaque côté de cette plaque.

93. Les figures 50 et 51 représentent les formes partielles de l'excentrique à détente variable (§. 32).

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

Les paragraphes 15, 77 et 79 montrent comment nous agissons pour donner au tiroir, sans modifier sa course, la propriété de faire augmenter au condenseur l'ouverture des orifices, afin que l'évacuation de la vapeur s'opère plus promptement.

FIN DE LA TABLE.

[illegible] de généraux [illegible]

[illegible]

avec des points fixes pour [illegible]

[illegible]

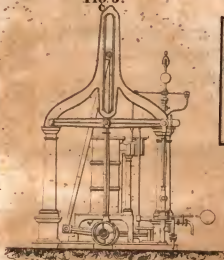
rayon du plan [illegible]

$\frac{1}{\ }$ de plus [illegible]

[illegible]

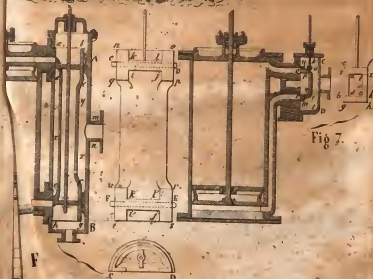
Nota. Figure 24 [illegible]

Les paragraphes 15, 37 et 70 [illegible] modifiés [illegible] ouverture [illegible] complètement.

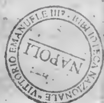


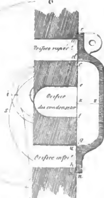
Legende

Figures	Pressions	Forces	Systèmes	Échelles
1°	basse	6 chev	Maudslay	[illegible]
2	basse	25	id pour navigation	[illegible]
3	haute	16	id modifiée par Mr Scaldier	[illegible]
4	haute	8	Cavez machine oscillante	[illegible]
5	douce moyenne machine de 70 à [illegible]		Stephenson	1/50



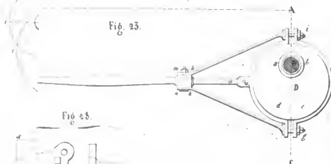
Lith Launay-Gaguet, Angers



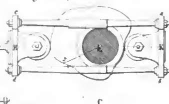














Lith Launay-Cagnol, Angers.


"VITTORIO EMANUELE III" - BIBLIOTECA NAZIONALE
NAPOLI

Fig. 30.

Lorsque la machine tourne en avant Les manivelles sont en c_a et c_b et quand elle va en arrière elles se trouvent en c_a'' et c_b'

Levier du tiroir.

Brelle du tiroir

Brelle d'excentrique

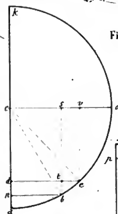


Fig. 36.

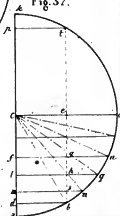


Fig. 37.

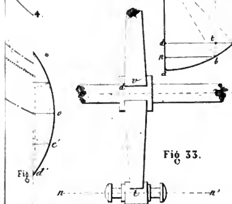
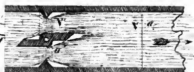
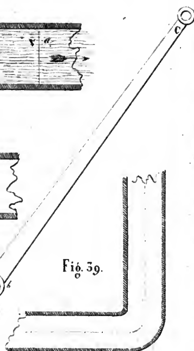


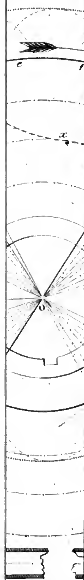
Fig. 33.

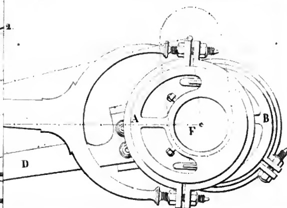
Lith. Launay-Gagnot, Angers











Lith. Launay Cagnot Angers.


NAPOLI

Fig. 51.

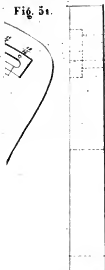


Fig. 49.

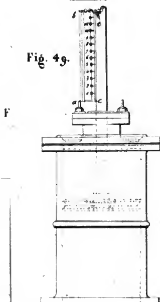
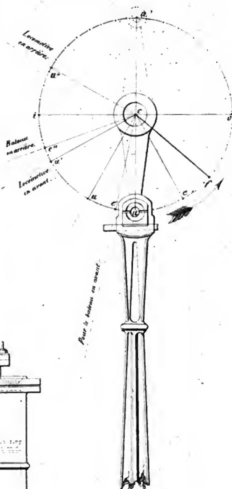


Fig. 45.



F

Lith. de Launay-Cagnet Anger.


VITTORIO EMANUELE III · BIBLIOTECA NAZIONALE
NAPOLI

